



TUGAS AKHIR - TM 141585

**PEMILIHAN PARAMETER UNTUK MENINGKATKAN
KEKUATAN SPESIMEN TARIK DAN IMPACT PADA
PROSES INJEKSI PLASTIK DENGAN METODE
TAGUCHI**

Dhian Prihananto
NRP. 2110 100 093

Dosen Pembimbing
Arif Wahjudi, ST., MT., PhD.

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - TM 141585

**SELECTION OF PARAMETERS TO INCREASE TENSILE
STRENGTH AND IMPACT STRENGTH OF SPECIMEN ON
INJECTION MOULD PROCESS USING TAGUCHI
METHOD**

Dhian Prihananto
NRP. 2110 100 093

Academic Advisor
Arif Wahjudi, ST., MT., PhD.

DEPARTMENT MECHANICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

LEMBAR PENGESAHAN

PEMILIHAN PARAMETER UNTUK MENINGKATKAN KEKUATAN SPESIMEN TARIK DAN IMPACT PADA PROSES INJEKSI PLASTIK DENGAN METODE TAGUCHI

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Lab. Perancangan Pengembangan Produk
Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Dhian Prihananto

Nrp. 2110100093

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Arif Wahjudi, ST., MT., Ph.D. (Pembimbing)
Nip. 197303222001121001
2. Prof. Dr. Ing. I Made Londen B., M.Eng. (Penguji I)
Nip. 195811061986011002
3. Indra Sidharta, ST., M.Sc. (Penguji II)
Nip. 198006192006041004
4. Ir. Sampurno, MT. (Penguji III)
Nip. 196504041989031002

SURABAYA

2015

PEMILIHAN PARAMETER UNTUK MENINGKATKAN KEKUATAN SPESIMEN TARIK DAN *IMPACT* PADA PROSES INJEKSI PLASTIK DENGAN METODE TAGUCHI

Nama Mahasiswa : Dhian Prihananto
NRP : 2110 100 093
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Arif Wahyudi, ST, MT, PhD.

Abstrak

Kebutuhan dan ketergantungan manusia akan plastik dewasa ini sangat besar dan bahan ini menjadi tidak tergantikan oleh material lain. Hal ini dikarenakan produk plastik mudah didapat, mudah dibawa kemana-mana dan mudah dibentuk sesuai keinginan. Seiring berjalannya waktu, kualitas plastik dari setiap perusahaan pun dipertanyakan. Apakah proses produksi plastik tersebut telah menghasilkan plastik dengan kualitas yang baik atau tidak. Hal ini berkaitan dengan baik material plastik ataupun proses produksinya. Salah satu proses produksi yang menggunakan bahan baku plastik tersebut adalah injeksi plastik (injection Molding).

Pada tugas akhir ini dilakukan optimasi kekuatan tarik dan impact pada proses injeksi di mesin injection molding HAITIAN MA 900/260e dengan mengubah parameter-parameter proses yang ada pada mesin injeksi plastik tersebut Untuk mencari alternatif material plastik yang dapat menghasilkan produk yang memiliki kualitas yang optimal berdasarkan kekuatan tarik dan impact sebagai batasannya. Penyelesaian tugas akhir ini memanfaatkan metode Taguchi dan logika Fuzzy. Parameter proses injeksi plastik yang dipilih adalah waktu tahanan, waktu pendinginan dan temperatur. Setiap parameter memiliki tiga level, yaitu untuk temperatur 220⁰C,

225⁰C, 230⁰C, untuk waktu tahan 5 , 10 dan 15 detik, dan untuk waktu pendinginan 10 , 15 dan 20 detik.

Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah kombinasi parameter yang dapat menaksimalkan kekuatan spesimen tarik dan impact secara serentak adalah temperatur nozzle sebesar 225⁰C, waktu tahan sebesar 15 detik dan waktu pendinginan sebesar 20 detik. Waktu tahan tidak berpengaruh secara signifikan pada multirespon dikarenakan nilai F_{hitung} -nya lebih kecil dari nilai F_{tabel} pada tabel distribusi F. Persentase peningkatan kekuatan tarik dan impact secara serentak yang didapatkan dari eksperimen dengan metode Taguchi dan logika Fuzzy sebesar 40,34%.

Kata Kunci : plastik, parameter proses injeksi, optimasi, Taguchi, logika Fuzzy, Tegangan Tarik dan Impact

SELECTION OF PARAMETERS TO INCREASE TENSILE STRENGTH AND IMPACT STRENGTH OF SPECIMEN ON INJECTION MOULD PROCESS USING TAGUCHI METHOD

Student Name : Dhian Prihananto
NRP : 2110 100 093
Department : Teknik Mesin FTI-ITS
Academic Advisor : Arif Wahyudi, ST, MT, PhD.

Abstract

Human needs and dependency for plastic nowadays is huge. This material is not replaceable by other materials. Because it is easy to get, easy to carry everywhere and easily to be formed. Over time, the plastic quality of any company ever questioned. Whether the plastic production process has produced plastic with good quality or not. This relates to both plastic materials or the production process. One of the production processes that uses plastic raw materials is plastic injection (injection Molding).

To find alternative of plastic material which can produce optimal quality products such as high tensile strength and impact in this study optimization of tensile strength and impact on the process of injection in the injection molding machine type HAITIAN MA 900/260e was performed by changing the process parameters in injection Molding machine. The completion of this final project applied method of Taguchi and Fuzzy logic. Plastic injection process parameters such as holding time, cooling time and temperature are chosen. Each parameter has three levels, i.e. temperature level were 2200C, 2250C, 2300C, holding time level were 5, 10 and 15 seconds, and the cooling time levels were 10, 15 and 20 seconds.

The results obtained from this study was the combination of parameters that could be maximize tensile and impact strength of

specimen simultaneously i.e. the 225⁰C of temperature of the nozzle, 15 seconds of holding time and 20 seconds of cooling time . holding time was no effect on the multirespon significantly due to its F_{hitung} value is smaller than the value of F_{tabel} distribution in Table F. The percentage of the increase in tensile strength and impact strength simultaneously obtained from experiments using Taguchi method and Fuzzy logic was 40,34 %.

Keywords : plastic, the injection process parameters, optimization, Taguchi, Fuzzy logic, Tensile and Impact Strength

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT. Yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga tugas akhir dengan judul “Pemilihan Parameter untuk Meningkatkan Kekuatan Spesimen Tarik dan *Impact* pada Proses Injeksi Plastik dengan Metode Taguchi” ini dapat terselesaikan dengan baik.

Laporan tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) pada Jurusan teknik Mesin. Dan dengan terselesaikannya tugas akhir ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu dalam penyusunannya terutama kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Almarhum Ayah penulis yaitu Alh. Agus Sunaryo dan Ibu tercinta yaitu Agus Sri Utami yang tidak pernah lelah membantu penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kakak penulis, yaitu Dimas Aditya Kurniawan yang telah membantu menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Arif Wahjudi selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan bimbingannya pada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak Prof. I Made Londen Batan selaku Co. Dosen Pembimbing yang selalu membimbing dan mengarahkan penulis pada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini
5. Teman-teman warga Lab. Perancangan Pengembangan Produk yang selalu menghibur di saat penulis galau saat mengerjakan tugas akhir ini.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK

ABSTRACT

KATA PENGANTAR

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Percobaan	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
 BAB II TEORI DASAR & TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tinjauan Umum Proses Injection Molding	7
2.2 Tinjauan Umum Mesin Injection Molding	8
2.3 Bahan yang digunakan	9
2.3.1 PP (PolyPropylene)	10
2.4 Parameter yang dapat diubah dari mesin injeksi	11
2.5 Tinjauan Umum Proses Uji Tarik	13
2.5.1 Deformasi	13
2.5.2 Hukum Hooke	14
2.6 Tinjauan Umum Proses Uji Beban Kejut (Impact)	18
2.6.1 Metode pengujian impact	21
2.6.2 Temperatur Transisi Gelas	22
2.7 Metode Taguchi	23
2.7.1 Prosedur Eksperimen	24
2.7.2 Interpretasi Hasil Eksperimen	32
2.8 Logika Fuzzy	35
2.8.1 Fungsi Keanggotaan (Membership Function)	37

2.8.2 Fungsi Implikasi	42
2.8.3 Sistem Inferensi Mamdani.....	43
2.9 Penggunaan Metode Taguchi dan Logika Fuzzy	46
 BAB III METODE PENELITIAN.....	 53
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	53
3.2 Tahap-tahap Penelitian.....	54
3.2.1 Studi literatur dan Lapangan	55
3.2.2 Variabel Penelitian	55
3.2.3 Identifikasi nilai variabel	56
3.2.4 Pemilihan matriks orthogonal.....	56
3.2.5 Persiapan eksperimen	59
3.2.6 Pelaksanaan eksperimen.....	59
3.2.7 Pengambilan data hasil eksperimen.....	59
3.2.8 Perhitungan rasio S/N untuk setiap respon.....	60
3.2.9 Optimasi respon dengan logika Fuzzy	60
3.2.10 Kombinasi nilai parameter respon optimal.....	60
3.2.11 Pelaksanaan eksperimen konfirmasi.....	61
3.2.12 Kesimpulan dan saran	61
 BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	 63
4.1 Data Hasil Eksperimen.....	63
4.2 Perhitungan Nilai Rasio S/N	64
4.3 Fuzzifikasi	65
4.4 Fuzzy Rules	68
4.5 Defuzzifikasi	69
4.6 Hasil Optimasi.....	71
4.7 Analisa Variansi, Uji Distribusi F dan persen Kontribusi	72
4.8 Interval Kepercayaan.....	76
4.9 Eksperimen Konfirmasi.....	78
4.10 Pengaruh parameter terhadap multirespon secara teknik	79
4.10.1. Nozzle Temperature	79
4.10.2. Holding Time	80
4.10.3. Cooling Time.....	80

4.11 Persentase Peningkatan Gabungan Kekuatan Tarik dan Impact untuk Setiap kombinasi eksperimen.....	81
4.12 Kombinasi Tengah Sebagai Perbandingan Nilai FRG ...	82
4.13 Evaluasi Hasil Eksperimen.....	84

BAB V PENUTUP.....	67
5.1 Kesimpulan.....	67
5.2 Saran.....	68

DAFTAR PUSTAKA.....	88
BIODATA PENULIS	

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Sifat-sifat Polypropylene	8
Tabel 2.2. Temperatur Leleh Proses Termoplastik	9
Tabel 2.3. Matriks Orthogonal standar untuk L9(34).....	20
Tabel 2.4. Tabel Analisa Variansi	21
Tabel 2.5. Tabel Respon Fuzzy Reasoning Grade	37
Tabel 3.1. Nilai pada faktor konstan	42
Tabel 3.2. Nilai pada variabel bebas	42
Tabel 3.3. Total derajat kebebasan faktor dan level	42
Tabel 3.4. Rancangan percobaan Taguchi.....	43
Tabel 3.5. Tampilan data hasil eksperimen	44
Tabel 3.6. Perhitungan rasio S/N masing-masing respon.....	45
Tabel 4.1. Data Hasil Eksperimen.....	47
Tabel 4.2. Data Rasio S/N setiap respon	48
Tabel 4.3. Fuzzy Rules	51
Tabel 4.4. Fuzzy Reasoning Grade	53
Tabel 4.5. Kombinasi parameter proses untuk respon maksimal ...	54
Tabel 4.6. ANOVA dan persen kontribusi faktor pada FRG	55
Tabel 4.7. Kondisi Hipotesa Nol untuk setiap parameter proses.....	56
Tabel 4.8. Analisa variansi dan persen kontribusi faktor pada FRG setelah pooled up	56
Tabel 4.9. Hasil konfirmasi eksperimen.....	58
Tabel 4.10. Nilai rasio S/N pada eksperimen konfirmasi.....	59

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan dan ketergantungan manusia akan plastik dewasa ini sangat besar dan bahan ini menjadi tidak tergantikan oleh material lain. Pemakaian plastik secara besar- besaran dimulai pada tahun 1960, pada saat itu kebutuhan plastik dunia mencapai sembilan juta ton per tahun, pada tahun 2000 kebutuhan dunia akan plastik mencapai 170 juta ton dan volume produksi *polyethylene* (biji plastik) per tahun mencapai 320.000 ton, atau 40% (terbesar di Indonesia) dari produksi biji besi nasional pada tahun 2014 (www.pikiran-rakyat.com). Hal ini dikarenakan produk plastik mudah didapat, mudah dibawa kemana-mana dan mudah dibentuk sesuai keinginan.

Seiring berjalannya waktu, kualitas plastik dari setiap perusahaan pun dipertanyakan. Apakah proses produksi plastik tersebut telah menghasilkan plastik dengan kualitas yang baik atau tidak. Bila ditinjau dari material plastik yang digunakan, sudah pasti material plastik yang memiliki kualitas yang baik akan menghasilkan produk yang baik pula. Tetapi material plastik yang berkualitas tinggi memiliki harga yang tinggi juga. Apabila yang dirubah adalah setting parameter dari proses produksi maka plastik dengan kualitas rendah mampu bersaing dengan plastik yang berkualitas tinggi. Salah satu proses produksi yang menggunakan bahan baku plastik tersebut adalah injeksi plastik (*injection Molding*).

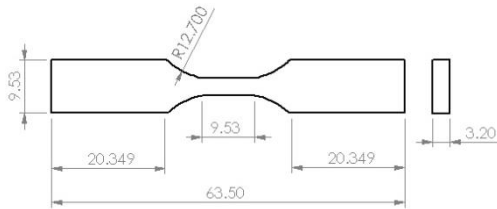
Proses injeksi plastik memiliki banyak parameter yang dapat diubah-ubah nilainya untuk memperoleh produk

dengan berbagai respon yang diinginkan. Penentuan kombinasi parameter pada proses injeksi plastik untuk mencapai peningkatan nilai secara serentak dari beberapa respon tersebut cukup sulit dilakukan karena membutuhkan banyak percobaan sehingga dapat memakan biaya yang cukup besar. Metode Taguchi adalah salah satu metode yang efektif untuk mengendalikan kualitas produk secara *off-line*, yaitu usaha pengendalian atau perbaikan kualitas yang dimulai dari perancangan hingga pemrosesan. Metode Taguchi hanya bisa mengoptimasi proses pada satu respon. Namun, dengan adanya metode lanjutan seperti Logika Fuzzy atau *Grey Relational Analysis* membuat metode Taguchi dapat digunakan untuk melakukan optimasi terhadap beberapa respon secara serentak. Metode ini sangat efektif untuk mengadakan perbaikan kualitas, pengurangan biaya pengembangan produk.

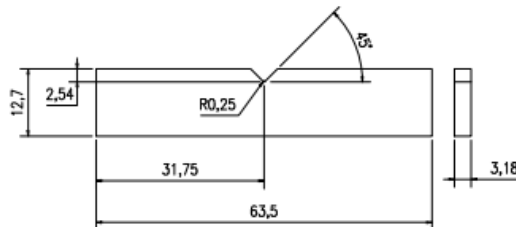
Salah satu penelitian terdahulu yang mengangkat masalah tentang pengaturan parameter atau faktor pada proses injeksi plastik telah dilakukan. Resha Sigid P (2013) melakukan penelitian tentang optimasi respon cacat penyusutan (*shrinkage*) dan kekuatan tarik pada spesimen injeksi plastik. Faktor yang divariasikan adalah *Holding time* dengan 3 level yaitu 4, 5 dan 6 detik dan temperatur dengan 5 level yaitu 165⁰C, 175⁰C, 185⁰C, 195⁰C, dan 205⁰C. Material plastik yang digunakan adalah campuran dari *Polyethylene* dan *Polypropylene*. Dari hasil penelitian diketahui bahwa pada penggunaan temperatur dari 165⁰C–185⁰C, kekuatan tarik yang dihasilkan semakin meningkat. Setelah temperatur 185⁰C cenderung menurun.

Mesin *injection molding* HAITIAN MA 900/260e yang dimiliki oleh Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Fakultas Teknik Industri, Jurusan Teknik Mesin yang telah mendapatkan *mold base* hasil rancangan Saudari Warda (2014) untuk spesimen yang disesuaikan dengan standar dimensi spesimen uji tarik yaitu standar ASTM D638, seperti pada Gambar 1.1 dan untuk dimensi spesimen uji beban kejut sesuai dengan standar ASTM D6110, seperti pada Gambar 1.2 sebagai berikut:



Gambar 1.1 Spesimen uji tarik (ASTM D638)



Gambar 1.2 Spesimen uji beban kejut (ASTM D6110)

Mesin injeksi tersebut belum digunakan untuk penelitian lebih lanjut. Sehingga untuk mencari alternatif material plastik yang dapat menghasilkan produk yang memiliki kualitas yang optimal berdasarkan kekuatan tarik dan *impact*, diambil tugas akhir yaitu pemilihan parameter untuk meningkatkan kekuatan spesimen tarik dan *impact* pada proses injeksi plastik pada mesin *injection molding* HAITIAN MA 900/260e dengan metode Taguchi dan Logika Fuzzy.

1.2. Perumusan Masalah

Dari uraian di atas beberapa permasalahan yang dapat dirumuskan adalah sebagai berikut:

1. Apakah faktor-faktor seperti : *Holding time*, *Nozzle Temperature*, dan *Cooling Time* pada proses injeksi plastik memiliki pengaruh terhadap kekuatan tarik dan *impact* dari spesimen yang dihasilkan?
2. Bagaimana setting yang tepat dari faktor-faktot tersebut pada proses injeksi plastik sehingga dapat meningkatkan kekuatan tarik dan *impact* dari spesimen yang dihasilkan?
3. Berapa besar persentase penigkatan gabungan kekuatan tarik dan *impact* setelah dilakukan penelitian?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah yang ditetapkan agar penelitian dapat berjalan dengan baik dan dapat mencapai tujuan yang diinginkan adalah sebagai berikut:

1. Mesin *injection molding* yang digunakan HAITIAN MA 900/260 e.
2. Biji plastik yang digunakan adalah *Polypropylene*.
3. Mesin uji tarik yang digunakan adalah Mesin Frank 654 dengan kapasitas maksimal 200 kg.
4. Mesin uji beban kejut (*impact*) yang digunakan adalah Mesin *impact* Mini dengan kemampuan menyalurkan energi sebesar 2.75 J.
5. Pemeriksaan cacat pada spesimen hanya dilakukan secara visual.
6. Setting parameter hanya dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan spesimen uji tarik dengan

standar ASTM D638 dan impact dengan standar ASTM D6110.

7. Hasil peningkatan hanya dapat digunakan pada spesimen uji tarik dan impact

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian dalam tugas akhir ini yaitu :

1. Mengetahui besar pengaruh faktor-faktor seperti : *Holding time*, *Nozzle Temperature*, dan *Cooling Time* pada proses injeksi plastik terhadap kekuatan tarik dan *impact* dari spesimen yang dihasilkan.
2. Menentukan kombinasi dari faktor-faktor tersebut pada proses injeksi plastik sehingga dapat memaksimalkan kekuatan tarik dan *impact* dari spesimen yang dihasilkan.
3. Mengetahui berapa besar persentase peningkatan gabungan kekuatan tarik dan impact setelah dilakukan penelitian.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapat dalam penelitian ini adalah :

1. Menambah ilmu pengetahuan dalam bidang optimasi parameter-parameter pada mesin *injection molding* pada produksi benda plastik.
2. Sebagai bahan referensi bagi penelitian berikutnya yang sejenis dalam mengembangkan pengetahuan tentang optimasi pada kekuatan tarik dan *impact*.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

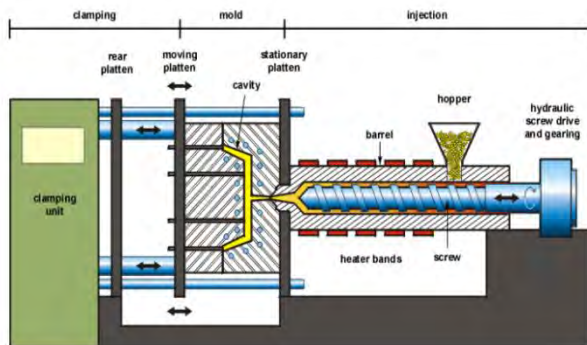
BAB II

TEORI DASAR DAN TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum Proses Injection Molding

Injection molding secara garis besar adalah metode material thermoplastik dimana material yang meleleh karena pemanasan diinjeksikan melalui nozzle mesin ke dalam cetakan yang didinginkan oleh air dimana material plastik tersebut akan menjadi dingin dan mengeras sehingga bisa dikeluarkan dari cetakan dengan mudah.

Proses injection molding ini sangat sesuai untuk material termoplastik, karena dengan pemanasan, material akan melunak dan sebaliknya akan mengeras lagi bila didinginkan. Material plastik yang berbentuk granulat/butiran ditempatkan ke dalam suatu corong (*hopper*) yang membuatnya masuk ke dalam silinder injeksi seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6. Material yang sudah dipanasi dan berubah menjadi lunak seperti bubur plastik ini akan terus didorong melalui *nozzle* dan melewati *sprue bush* ke dalam rongga cetak (*cavity*) dari cetakan yang sudah tertutup. Setelah beberapa saat didinginkan, cetakan dibuka dan benda jadi yang sudah mengeras dikeluarkan dengan suatu mekanisme tertentu. Adapun gambar sistem injeksi molding sebagai berikut.



Gambar 2.1. Sistem *injection molding* (costumpartner.com)

Injection molding merupakan proses yang bersifat siklus, artinya langkah kerja yang sama dilakukan diulang-ulang secara terus-menerus. Langkah kerja utama pada proses injeksi bisa dijelaskan sebagai berikut:

- Langkah 1 Cetakan menutup.
- Langkah 2 Injeksi dimulai, unit injeksi maju sedemikian jauh hingga antara *nozzle* merapat ke cetakan.
- Langkah 3 *Screw* bergeser maju sehingga material yang telah plastik dengan tekanan tinggi diinjeksikan ke dalam *cavity*.
- Langkah 4 Fase *Holding time*, merupakan waktu tunggu sampai material plastik membeku dan kaku sehingga siap dikeluarkan.
- Langkah 5 Unit injeksi kembali mundur dengan maksud agar *sprue bush* tidak terkena panas dari *nozzle*.
- Langkah 6 Mendosis, ulir berputar dan mendorong material plastik ke dalam ruang pengumpul. Dalam pada itu ulir tergeser ke belakang.
- Langkah 7 Cetakan terbuka, produk serta runner dikeluarkan.

2.2 Tinjauan Umum Mesin Injection Molding (HAITIAN MA 900/260 e)

Pada penelitian ini mesin *injection molding* yang digunakan adalah HAITIAN MA type 900/260 e. Berikut adalah Spesifikasi dari mesin injection molding yang diambil dari katalog mesin HAITIAN MARS series.

		MA900 II /260e		
INJECTION UNIT		A	B	C
Screw diameter	mm	32	36	40
Screw L /D ratio	L/D	22.5	20	18
Shot size (theoretical)	cm ³	121	153	188
Injection weight (PS)	g	110	139	171
Injection rate (PS)	g/s	77	98	121
Injection pressure	MPa	218	173	140
Plasticizing rate (PS)	g/s	10.1	13.3	16.1
Screw speed	rpm	0-230		
CLAMPING UNIT				
Clamp tonnage	kN	900		
Toggle stroke	mm	320		
Space between tie bars	mm	360×360		
Max. mold height	mm	380		
Min. mold height	mm	150		
Ejector stroke	mm	100		
Ejector force	kN	33		
OTHERS				
Max. pump pressure	MPa	16		
Pump motor power	kW	11		
Heater power	kW	6.3		
Machine dimension (l × w × h)	m	4.4×1.13×1.91		
Machine weight	t	3.5		
Hopper capacity	kg	25		
Oil tank capacity	l	190		

Gambar 2.2 Spesifikasi mesin injection molding HAITIAN MA type 900/260 e

2.3 Bahan Plastik yang digunakan

Plastik yang digunakan adalah PP (Polypropylene). Sebelum dijelaskan tentang plastik PP, Karakteristik suatu polimer yang berhubungan dengan sifat mekanik plastik dapat dilihat sebagai berikut :

1. Crystallinity (kristalinitas)

Struktur polimer yang tidak tersusun secara teratur umumnya memiliki warna transparan. Karakteristik ini membuat polimer dapat digunakan untuk berbagai aplikasi seperti pembungkus makanan, kontak lensa dan sebagainya. Semakin tinggi derajat kristalisasinya, semakin sedikit cahaya yang dapat melewati polimer tersebut.

2. Branching (percabangan)

Semakin banyak cabang pada rantai polimer maka densitasnya akan semakin kecil. Hal ini akan membuat titik

leleh polimer berkurang dan elastisitasnya bertambah karena gaya ikatan intermolekularnya semakin lemah.

2.3.1 PP (PolyPropylene)

Sifat-sifat Polypropylene serupa dengan sifat-sifat Polyethylene. Massa jenisnya rendah ($0,90 - 0,92 \text{ g.cm}^{-3}$), termasuk kelompok yang paling ringan diantara bahan polimer, dan dapat terbakar bila dinyalakan dibandingkan HDPE. Polypropylene memiliki beberapa keunggulan dan kelemahan, yaitu :

Keunggulan :

1. Titik lelehnya tinggi (176°C) dan densitasnya rendah ($0,9 - 2,2 \text{ gr/cm}^3$)
2. Tahan korosi
3. Merupakan kelompok yang paling ringan di antara kelompok polimer
4. Mudah diproses dan banyak digunakan untuk proses produksi

Kelemahan :

1. Daya penghantar panas dan listrik rendah
2. Apabila dibakar akan menimbulkan bau menyengat

Tabel 2.1 Sifat-sifat Polypropylene

Sifat-sifat	Polypropylene
Kristalinitas	60%
Massa jenis [10^3 kg.m^{-3}]	0,90
Tg [$^{\circ}\text{C}$]	10
Tm [$^{\circ}\text{C}$]	176
Tegangan Tarik [N.mm^{-2}]	30 sampai 40
Modulus Tarik [N.mm^{-2}]	1,1 sampai 1,6
Perpanjangan [%]	50 sampai 600

Sumber : Hadi Syamsul, Ir. 1995 , ”Teknologi Bahan 3”,
Hal 36

2.4 Parameter yang dapat diubah dari mesin injeksi

Dari mesin HAITIAN MA type 900/260 e, parameter-parameter yang dapat diubah adalah:

1. Nozzle Temperature

Nozzle Temperature adalah salah satu temperatur dari unit injeksi pada mesin mold. Nilai dari *Nozzle Temperature* ini bergantung dari temperatur leleh material plastik yang digunakan. Temperatur nozzle harus selalu lebih besar dari pada temperatur leleh material plastik. Berikut Tabel material palstik dan temperatur lelehnya. Berikut adalah tabel temperatur leleh pada tiap material plastik.

Tabel 2.2. Temperatur Leleh Proses Termoplastik

<i>Melting points and ignition temperatures</i>		
Plastic	Melting Point Range	Ignition Temperature
ABS	88°-125°	416°
Acrylics	91°-125°	560°
Cellulosics	49°-121°	475°-540°
Nylons	160°-275°	424°-532°
Polycarbonate	140°-150°	580°
Polyesters	220°-268°	432°-488°
Polyethylene ld	107°-124°	349°
Polyethylene hd	122°-137°	349°
Polypropylene	158°-168°	570°
Polystyrene	100°-120°	488°-496°
Polyurethanes	85°-121°	416°
PTFE	327°	530°
P.vinylideneclor	212°	454°
PVC	75°-110°	435°-557°
Wool		228°-230°
Cotton		250°
Rubber		260°-316°

Sumber : www.tcforensic.com.au

Apabila temperatur nozzle yang digunakan pada mesin injeksi mendekati standar temperatur leleh dari Plastik PP, yaitu 158 °C – 168 °C akan menyebabkan kristalinitas plastik meningkat sehingga menyebabkan molekul-molekul menjadi lebih rapat sehingga membutuhkan gaya yang lebih besar untuk memisahkannya, sehingga dapat mempengaruhi kekuatan tarik dan kekuatan impact plastik tersebut (Ibnu Saba‘at Darajat : 2008 : 9).

2. *Cooling Time*

Cooling Time atau waktu pendinginan adalah waktu dibutuhkan oleh mesin untuk mendinginkan plastik saat berada di dalam cetakan. Waktu pendinginan mempengaruhi derajat kristalinitas dan tegangan internal. Apabila waktu pendinginan terlalu lama, maka derajat kristalinitas akan meningkat tetapi tegangan internal juga akan meningkat. Tegangan internal yang meningkat dapat membuat spesimen menjadi rapuh dan memperlemah kekuatan spesimen tersebut (Sudirman dkk : 2004 : 23).

3. *Holding time*

Holding time atau waktu penekanan adalah waktu yang dibutuhkan oleh mesin untuk menahan plastik saat berada di cavity untuk mengeras. Waktu penekanan ini sangat tergantung besar kecilnya dimensi cetakan (mold). Makin besar ukuran cetakan makin lama waktu penekanan yang diperlukan.

Holding time berperan membekukan spesimen plastik sehingga dapat mempengaruhi kekuatan tarik dan impact. *Holding time* sangat mempengaruhi kepadatan spesimen sehingga apabila semakin padat, kemungkinan terjadinya porositas (void) akan menurun (Resha Sigit P : 2013 : vii).

2.5 Tinjauan Umum Proses Uji Tarik

Uji tarik merupakan salah satu pengujian yang dilakukan pada material untuk mengetahui karakteristik dan sifat mekanik material terutama kekuatan dan ketahanan terhadap beban tarik. Dengan menarik material tersebut kita akan segera mengetahui bagaimana material tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Standar

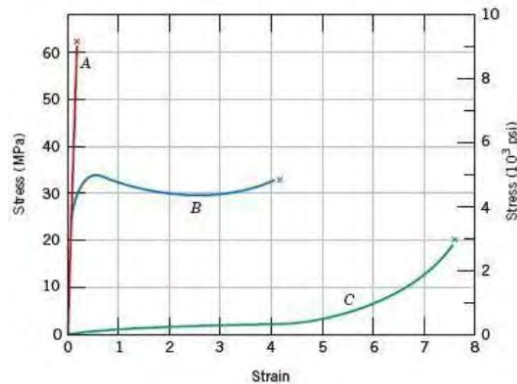
pengujian yang digunakan dalam pengujian tarik untuk polimer dan plastik adalah ASTM D-638.

2.5.1 Deformasi

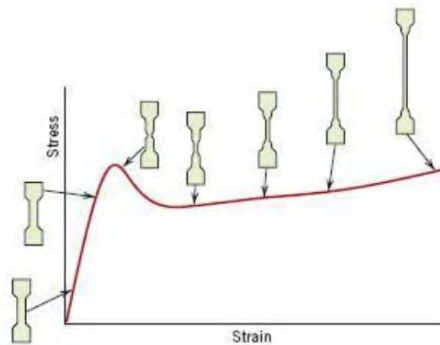
Struktur polimer cukup berbeda sehingga perilaku mekanisnya tidak selalu sama dengan perilaku logam atau keramik nonsilikat. Pada gambar 2.3 menunjukkan perilaku hasil uji tarik pada bahan polimer yang mempunyai sifat dan karakter yang berbeda. Pada semua padatan, tegangan akan menimbulkan regangan elastis (deformasi elastis). Regangan elastis muncul ketika ada tegangan, tetap konstan apabila tegangannya konstan dan hilang apabila tegangannya dihilangkan.

Deformasi elastis adalah suatu regangan yang dapat kembali (reversible) seperti yang terlihat pada gambar 2.4. Jika suatu tegangan diberikan dalam bentuk tarik, material akan menjadi sedikit lebih panjang, bila beban ditiadakan material tersebut akan kembali ke dimensi semula. Sebaliknya, bila material mengalami penekanan, material menjadi sedikit lebih pendek.

Pada tegangan yang lebih tinggi terjadi pergeseran tetap dari atom-atom dalam suatu bahan disamping regangan elastis. Regangan ini tidak mampu kembali pada saat regangan ditiadakan, regangan ini disebut regangan plastis. Pada pemakaian produk, kita selalu menghindari terjadinya deformasi plastis sehingga perhitungan desain dilandaskan pada tegangan-tegangan di daerah elastis (proporsional).



Gambar 2.3. Kurva tegangan-regangan untuk polimer a) getas (brittle); b) plastis; dan c) elastomer (highly elastic) (Sumaryono: “Perilaku Pengujian Tarik pada Polistiren dan Polipropilen”: 2012: 68)



Gambar 2.4. Grafik deformasi tegangan-regangan (Sumaryono: “Perilaku Pengujian Tarik pada Polistiren dan Polipropilen”: 2012: 69)

2.5.2 Hukum Hook

Dalam pengujian tarik, ketika spesimen mendapatkan beban, maka dia akan mengalami

perpanjangan, sampai kemudian putus. Jika l_1 adalah panjang mula-mula dari spesimen dan l_2 adalah panjang akhir spesimen setelah penarikan, maka perpanjangan persatuan panjang (e) adalah sebagai berikut:

$$e = \frac{l_2 - l_1}{l_1} \dots\dots\dots (2.1)$$

Perpanjangan per satuan panjang ini disebut regangan (strain). Dari regangan ini kita bisa mengetahui mampu bentuk suatu bahan. Semakin besar nilai regangan berarti bahan tersebut semakin baik mampu bentuknya. Disamping itu spesimen juga mendapatkan pembebanan (P) per satuan luas (A) yang besarnya adalah sebagai berikut:

$$S = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.2)$$

Pada pengujian tarik akan dihasilkan diagram hubungan antara tegangan dan regangan. Nilai perbandingan tegangan dan regangan tersebut disebut Modulus Elastisitas yang didapat dari persamaan berikut:

$$E = \frac{S}{e} \dots\dots\dots (2.3)$$

Bentuk diagram tegangan-regangan pada tiap bahan adalah berbeda-beda, namun yang biasanya diperoleh dari pengujian tarik bahan yang ulet bisa dilihat pada gambar 2.3 berikut:

biasanya setelah pembebanan dihilangkan, regangan total akan berkurang dari e_1 menjadi e_2 .

Berkurangnya regangan ini disebut *recoverable elastic strain*. Maka regangan yang diambil untuk menentukan offset adalah e_2 . Kekuatan tarik suatu bahan ditunjukkan oleh harga tegangan maksimum (s_{max}) kurva tegangan-regangan. Sedangkan tegangan patah adalah tegangan dimana spesimen mengalami patah.

2.6 Tinjauan Umum Proses Uji Beban Kejut (Impact)

Uji *impact* merupakan teknik yang digunakan untuk mengkarakterisasi patahan material yang sulit dilakukan pada uji tarik khususnya untuk material yang memiliki transisi deformasi yang sangat kecil. Pengujian ini berguna untuk melihat efek-efek yang ditimbulkan oleh adanya takikan, bentuk takikan, temperatur, dan faktor-faktor lainnya. Uji *Impact* bisa diartikan sebagai suatu tes yang mengukur kemampuan suatu bahan dalam menerima beban kejut yang diukur dengan besarnya energi yang diperlukan untuk mematahkan spesimen dengan ayunan bandul yang memiliki massa tertentu. Bandul tersebut mempunyai ketinggian tertentu berayun dan memukul spesimen. Berkurangnya energi potensial dari bandul sebelum dan sesudah memukul benda uji merupakan energi yang diserap oleh spesimen.



Gambar 2.6. Contoh Mesin Uji *Impact*

Besarnya energi *impact* (joule) dapat dilihat pada skala mesin penguji. Sedangkan besarnya energi *impact* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$E_o = W \cdot h_o \quad (2.4)$$

$$E_1 = W \cdot h_1 \quad (2.5)$$

$$\Delta E = E_o - E_1 = W (h_o - h_1) \quad (2.6)$$

dari gambar 4.2 didapatkan $h_o = \ell - \ell \cos \alpha$

$$= \ell (1 - \cos \alpha) \quad (2.7)$$

$$h_1 = \ell - \ell \cos \beta = \ell (1 - \cos \beta) \quad (2.8)$$

dengan substitusi persamaan 2.7 dan 2.8 pada 2.6 di dapatkan

:

$$\Delta E = W \ell (\cos \beta - \cos \alpha) \dots \dots \dots (2.9)$$

dimana E_o = Energi awal (J)

E_1 = Energi akhir (J)

W = Berat bandul (N)

h_o = Ketinggian bandul sebelum dilepas (m)

h_1 = Ketinggian bandul setelah dilepas (m)

ℓ = panjang lengan bandul (m)

α = sudut awal ($^{\circ}$)

β = sudut akhir ($^{\circ}$)

Untuk mengetahui kekuatan impact /*impact strength* (I_s) maka energi impact tersebut harus dibagi dengan luas penampang efektif spesimen (A) sehingga :

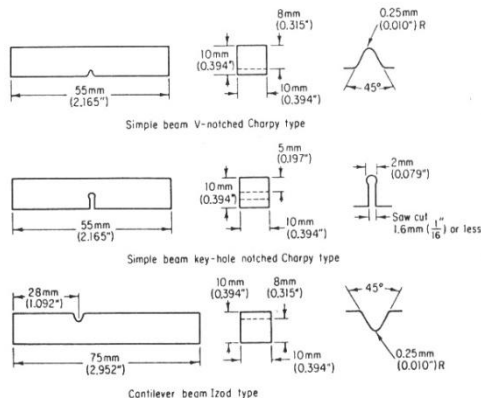
$$I_s = \Delta E / A$$

$$= W \ell (\cos \beta - \cos \alpha) \dots \dots \dots$$

$$\dots \dots \dots (2.10)$$

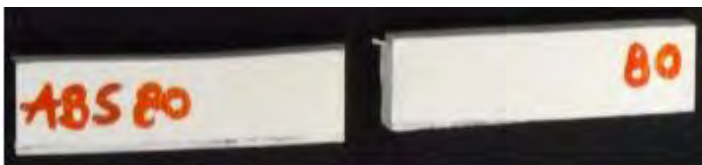
Pada suatu konstruksi, keberadaan takik atau *nocth* memegang peranan yang amat berpengaruh terhadap kekuatan *impact*. Adanya takikan pada kerja yang salah seperti diskontinuitas pada pengelasan, atau korosi lokal bisa bersifat sebagai pemusat tegangan (stress concentration). Adanya pusat tegangan ini dapat menyebabkan material *brittle* (getas), sehingga patah pada beban di bawah *yield strength*.

Ada tiga macam bentuk takikan pada pengujian impact yakni takikan V, U dan *key hole* sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.7 di bawah ini.



Gambar 2.7. Jenis takikan pada spesimen uji impact

Fracture atau kepatahan pada suatu material dapat digolongkan sebagai *brittle* (getas) atau *ductile* (ulet). Suatu material yang mengalami kepatahan tanpa mengalami deformasi plastis dikatakan patah secara *brittle*. Sedangkan apabila kepatahan didahului dengan suatu deformasi plastis dikatakan mengalami *ductile Fracture*. Material yang mengalami *brittle Fracture* hanya mampu menahan energi yang kecil saja sebelum mengalami kepatahan.



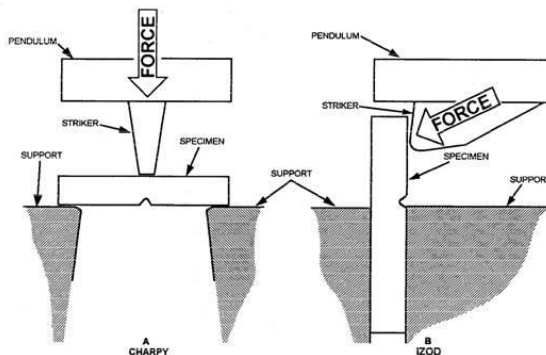
Gambar 2.8. Pola patahan pada penampang spesimen uji impact bahan ABS

2.6.1 Metode pengujian impact

Metode pengujian impact dibedakan menjadi 2 yaitu Metode Charpy dan Metode Izod

a) Metode Charpy

Pada metode sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.9. a spesimen diletakkan mendatar dan kedua ujung spesimen ditumpu pada suatu landasan. Letak takikan (*notch*) tepat ditengah dengan arah pemukulan dari belakang takikan. Biasanya metode ini digunakan di Amerika dan banyak negara yang lain termasuk Indonesia.



Gambar 2.9. Metode pengujian charpy dan izod

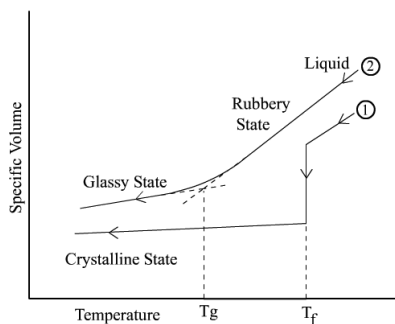
b) Metode izod

Pada metode ini sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.9 b spesimen dijepit pada salah satu ujungnya dan diletakkan tegak. Arah pemukulan dari depan takikan. Biasanya metode ini digunakan di Negara Inggris.

2.6.2 Temperatur Transisi Gelas

Suatu temperatur dimana kondisi bentuk kristalin pada polimer hancur dan berubah total menjadi bentuk amorf. Dilambangkan dengan T_g dan berbeda dengan Temperatur leleh (*melting*) yaitu T_f pada gambar 2.10, merupakan temperatur dimana wujud polimer berubah dari padat menjadi cair. Ketika suatu polimer berada pada kondisi di bawah T_g -nya, polimer tersebut akan menjadi

keras namun rapuh seperti gelas. Dan sebaliknya, apabila berada pada kondisi di atas T_g polimer akan plastis dan fleksibel. Tinggi rendahnya T_g berkaitan dengan struktur (*flexibility backbone*) yang dimiliki polimer. Polimer dengan struktur yang sulit bergerak (rigid) akan memiliki T_g yang tinggi. Pada polimer yang rigid diperlukan panas yang lebih banyak untuk menjadikannya mudah bergerak sehingga mencapai bentuk *rubbery* dan berlaku sebaliknya. Pada gambar 2.10. menunjukkan no.1 adalah polimer pada kondisi kristalin dan no.2 adalah polimer pada kondisi amorf.



Gambar 2.10. Temperatur Transisi Gelas (plc.cwru.edu)

2.7 Metode Taguchi

Metode Taguchi dicetuskan oleh Dr. Genichi Taguchi pada tahun 1949 saat mendapatkan tugas untuk memperbaiki sistem telekomunikasi di Jepang. Metode ini merupakan metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses serta dalam dapat menekan biaya dan *resources* seminimal mungkin. Sasaran metode Taguchi adalah menjadikan

produk *robust* terhadap *noise*, karena itu sering disebut sebagai *Robust Design*.

Metode Taguchi merupakan *off-line quality control* artinya pengendalian kualitas yang preventif, sebagai desain produk atau proses sebelum sampai pada produksi di tingkat *shop floor*. *Off-line quality control* dilakukan dilakukan pada saat awal dalam *life cycle product* yaitu perbaikan pada awal untuk menghasilkan produk (*to get right first time*). Kontribusi Taguchi pada kualitas adalah:

1. ***Loss Function***: Merupakan fungsi kerugian yang ditanggung oleh masyarakat (produsen dan konsumen) akibat kualitas yang dihasilkan. Bagi produsen yaitu dengan timbulnya biaya kualitas sedangkan bagi konsumen adalah adanya ketidakpuasan atau kecewa atas produk yang dibeli atau dikonsumsi karena kualitas yang jelek.
2. ***Orthogonal Array***: *Orthogonal array* digunakan untuk mendesain percobaan yang efisien dan digunakan untuk menganalisis data percobaan. *Orthogonal array* digunakan untuk menentukan jumlah eksperimen minimal yang dapat memberi informasi sebanyak mungkin semua faktor yang mempengaruhi parameter. Bagian terpenting dari *orthogonal array* terletak pada pemilihan kombinasi level dari variable-variabel input untuk masing-masing eksperimen.
3. ***Robustness***: Meminimasi sensitivitas sistem terhadap sumber-sumber variasi.

2.7.1 Prosedur Eksperimen

Desain metode Taguchi secara umum dibagi menjadi dua tahap yang mencakup semua pendekatan eksperimen, yaitu :

1. Tahap Perencanaan

Pada tahap perencanaan, peneliti dituntut untuk mempelajari eksperimen-eksperimen yang pernah dilakukan sebelumnya. Kecermatan dalam tahap ini dapat memberikan informasi yang memiliki nilai positif dan negatif. Informasi yang bernilai positif apabila hasil eksperimen memberikan informasi peningkatan performa dari produk, sedangkan informasi yang bernilai negatif apabila hasil eksperimen gagal dan hanya memberikan informasi faktor yang menyebabkan kegagalan dari eksperimen tersebut. Tahap ini terdiri dari beberapa langkah sebagai berikut:

a) Perhitungan derajat kebebasan

Derajat kebebasan adalah suatu konsep untuk mendeskripsikan seberapa besar eksperimen yang dilakukan dan seberapa banyak informasi yang diperoleh dari eksperimen tersebut. Perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk menentukan jumlah eksperimen yang akan dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati. Derajat kebebasan dari matriks orthogonal (v_{mo}) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$v_{mo} = \text{Jumlah eksperimen} - 1 \dots \dots \dots (2.11)$$

Derajat kebebasan dari faktor dan level (v_{fl}) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$v_{fl} = \text{Jumlah level faktor} - 1 \dots \dots \dots (2.12)$$

b) Pemilihan Matrik Orthogonal

Pemilihan matriks orthogonal ditentukan oleh jumlah derajat kebebasan dari jumlah faktor dan jumlah level faktor. Matriks orthogonal memiliki kemampuan untuk mengevaluasi sejumlah faktor dengan jumlah eksperimen yang minimum. Matriks orthogonal dilambangkan dalam bentuk:

$$L_a(b^c)$$

Dengan:

L = Rancangan bujursangkar latin

a = Jumlah eksperimen

b = Jumlah Level faktor

c = Jumlah faktor

Contoh dari Matriks orthogonal dari $L_9(3^4)$ adalah sebagai berikut:

Tabel 2.3. Matriks Orthogonal standar untuk $L_9(3^4)$

No. Eksperimen	Kolom		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

2. Tahap Analisis

Pada tahap ini, pengumpulan dan pengolahan data dilakukan. Tahap ini meliputi : pengumpulan data, pengaturan dan perhitungan data serta penyajian data dalam tampilan tertentu yang sesuai dengan desain yang dipilih. Selain itu, juga dilakukan perhitungan dan pengujian data statistik pada data hasil eksperimen.

a) Analisis Variansi

Analisa variansi adalah teknik yang digunakan untuk menganalisa data yang telah disusun dalam desain secara statistik. Analisa ini dilakukan dengan menguraikan seluruh variasi atau bagian-bagian yang diteliti. Pada tahap ini akan dilakukan pengklasifikasian hasil eksperimen secara statistik sesuai dengan sumber variasi sehingga dapat mengidentifikasi kontribusi faktor. Dengan demikian akurasi perkiraan model dapat ditentukan. Analisis variansi digunakan untuk menganalisa data percobaan dengan dua faktor atau lebih dan dua level atau lebih. Tabel Analisa variansi terdiri dari perhitungna derajat kebebasan, jumlah kuadrat, rata-rata dari hasil kuadrat, F_{hitung} seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.4.

tabel 2.4. Tabel Analisa Variansi

Sumber Variansi	DB	SS	MS	F _{hitung}
Faktor 1	v _A	SS _A	MS _A	F _A
Faktor 2	v _B	SS _B	MS _B	F _B
Faktor 3	v _C	SS _C	MS _C	F _C
Error	v _e	SS _e	MS _e	
Total	v _T	SS _T		

Dengan :

$$\begin{aligned} j &= 1,2,3,4... \\ v_j &= \text{derajat kebebasan Faktor } j \\ &= k_j - 1 \end{aligned} \quad (2.13)$$

$$\begin{aligned} v_T &= \text{derajat kebebasan Total} \\ &= N - 1 \end{aligned} \quad (2.14)$$

$$\begin{aligned} v_e &= \text{derajat kebebasan error} \\ &= v_T - v_1 - v_2 - v_3 \end{aligned} \quad (2.15)$$

$$T = \text{Jumlah keseluruhan}$$

$$\sum_{i=1}^N y_i^2 \quad (2.16)$$

$$CF = \text{Faktor koreksi}$$

$$\frac{T^2}{N} \quad (2.17)$$

$$\begin{aligned} SS_T &= \text{Jumlah kuadrat total} \\ &= T - CF \end{aligned}$$

$$\frac{T^2}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N y_i^2}{N} - \frac{(\sum_{i=1}^N y_i)^2}{N^2} \quad (2.18)$$

$$\begin{aligned} SS_j &= \text{Jumlah kuadrat faktor } j \\ &= \left[\sum_{i=1}^N \frac{j_i^2}{n_{j_i}} \right] - CF \end{aligned} \quad (2.19)$$

$$\begin{aligned} SS_e &= \text{Jumlah kuadrat error} \\ &= SS_T - SS_A - SS_B - SS_C \end{aligned} \quad (2.20)$$

$$\begin{aligned} MS_j &= \text{Rata-rata kuadrat faktor } j \\ &= \frac{SS_j}{v_j} \end{aligned} \quad (2.21)$$

$$\begin{aligned} MS_e &= \text{Rata-rata kuadrat error} \\ &= \frac{SS_e}{v_e} \end{aligned} \quad (2.22)$$

$$\begin{aligned} k_j &= \text{Jumlah faktor } j \\ N &= \text{Jumlah total percobaan} \\ n_{j_i} &= \text{Jumlah total pengamatan faktor } j \end{aligned}$$

b) Uji Distribusi F

Uji distribusi F dilakukan karena pengujian analisa variansi tidak membuktikan adanya perbedaan pengaruh faktor pada eksperimen. Pengujian ini dilakukan dengan cara membandingkan variansi yang disebabkan oleh masing-masing faktor dan variansi error. Variansi error adalah variansi setiap individu yang tidak dapat dikendalikan. Secara umum, hipotesis yang digunakan

dalam pengujian ini untuk faktor yang tidak diambil secara random adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} H_0 &: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_j \\ H_1 &: \text{Sedikitnya ada salah satu pasangan} \\ &\mu \text{ yang tidak sama} \end{aligned}$$

Kegagalan menolak H_0 mengindikasikan bahwa tidak adanya perbedaan rata-rata dari nilai respon yang dihasilkan pada perlakuan yang berbeda, sedangkan penolakan H_0 mengindikasikan perbedaan rata-rata dari nilai respon tersebut. Selain itu, karena respon pada setiap eksperimen dapat dimodelkan dalam bentuk:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Maka hipotesa yang juga dapat digunakan dalam pengujian ini adalah:

$$\text{Untuk taraf faktor 1} \quad \rightarrow \quad H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots \tau_k = 0$$

$$H_1 : \text{Salah satu } \tau \text{ tidak sama dengan } 0$$

$$\text{Untuk taraf faktor 2} \quad \rightarrow \quad H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots \beta_k = 0$$

$$H_1 : \text{Salah satu } \beta \text{ tidak sama dengan } 0$$

Kegagalan menolak H_0 mengindikasikan bahwa tidak adanya pengaruh faktor 1 dan faktor 2 terhadap respon sedangkan penolakan H_0 mengindikasikan bahwa adanya pengaruh dari faktor 1 dan faktor 2. Penolakan dan kegagalan penolakan H_0 dapat diketahui berdasarkan nilai F_{hitung} yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Untuk taraf faktor 1} \quad \rightarrow \quad F_{\text{hitung}} = \frac{MS_1}{MS_e} \quad \dots\dots\dots(2.23)$$

$$\text{Untuk taraf faktor 2} \quad \rightarrow \quad F_{\text{hitung}} = \frac{MS_2}{MS_e} \quad \dots\dots\dots(2.24)$$

H₀ akan diterima atau gagal ditolak apabila diperoleh kondisi sebagai berikut:

$$\text{Untuk taraf faktor 1} \quad \rightarrow \quad F_{\text{hitung}} < F_{\alpha, v_1, v_e} \quad \dots\dots\dots(2.25)$$

$$\text{Untuk taraf faktor 2} \quad \rightarrow \quad F_{\text{hitung}} < F_{\alpha, v_2, v_e} \quad \dots\dots\dots(2.26)$$

Dengan:

α = taraf signifikan.

H₀ juga akan ditolak apabila nilai F_{hitung} lebih besar dari dua (Park, 1996).

c) Rasio S/N

Rasio S/N atau Rasio *Signal to Noise* digunakan untuk memilih faktor-faktor yang memiliki kontribusi pada pengurangan variasi suatu respon. Rasio S/N merupakan rancangan transformasi pengulangan data ke dalam suatu nilai yang merupakan ukuran variasi yang timbul. Ditinjau dari karakteristik kualitas, terdapat tiga jenis Rasio S/N, yaitu :

1) Semakin kecil semakin baik (*Smaller the Better*)

Adalah karakteristik kualitas dengan batas nilai 0 dan non-negatif sehingga nilai yang semakin kecil atau mendekati nol adalah nilai yang diinginkan. Rasio S/N untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n} \right] \dots\dots\dots (2.27)$$

2) Tertuju pada nilai tertentu (*Nominal is the Best*)

Adalah karakteristik kualitas dengan nilai target tidak nol dan terbatas sehingga nilai yang semakin mendekati target tersebut adalah nilai yang diinginkan. Rasio S/N untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \bar{y})^2}{n} \right] \dots\dots\dots (2.28)$$

3) Semakin besar semakin baik (*Bigger the Better*)

Adalah karakteristik kualitas dengan rentang nilai tak terbatas dan non-negatif sehingga nilai yang semakin besar adalah nilai yang diinginkan. Rasio S/N untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{1/y_i^2}{n} \right] \dots\dots\dots (2.29)$$

2.7.2 Interpretasi Hasil Eksperimen

Interpretasi yang dilakukan pada hasil eksperimen dengan menggunakan metode Taguchi adalah sebagai berikut :

1) Persen Kontribusi

Persen kontribusi adalah porsi setiap faktor dan/atau interaksi faktor yang signifikan terhadap total variansi yang diamati. Persen kontribusi menunjukkan kekuatan relatif dari suatu faktor untuk mereduksi variasi dan merupakan fungsi dari jumlah kuadrat dari setiap faktor yang signifikan. Pada persen kontribusi akan dihitung persen kontribusi

faktor dan error. Jika persen kontribusi error kurang dari lima belas persen, artinya tidak ada faktor yang berpengaruh terabaikan, tetapi jika sebaliknya akan mengindikasikan adanya faktor yang berpengaruh terabaikan sehingga error yang terjadi terlalu besar. Persen kontribusi error suatu faktor dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\rho = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100\%$$

.....(2.30)

Dengan:

$$SS''_A = SS_A - v_A \cdot MS_e$$

.....(2.31)

2) **Prediksi Rasio S/N optimal**

Rasio S/N prediksi yang diperoleh dengan menggunakan kombinasi faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap respon pada level optimalnya dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\hat{\gamma} = \gamma_m + \sum_{i=1}^q (\gamma_i - \gamma_m) \dots \dots \dots (2.32)$$

Dengan:

q = Jumlah faktor yang berpengaruh secara signifikan

$\hat{\gamma}$ = Rata-rata total rasio S/N multirespon

3) **Confidence Interval**

Confidence interval atau interval keyakinan pada analisa hasil eksperimen dengan kondisi menggunakan metode Taguchi dihitung dalam dua kondisi, yaitu:

- a) *Confidence Interval* untuk kondisi perlakuan yang diprediksi

$$CI_1 = \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;v_e} \cdot MS_e}{n_{eff}}} \dots (2.33)$$

$$\mu_{prediksi} - CI_1 \leq \mu_{prediksi} \leq \mu_{prediksi} + CI_1 \dots (2.34)$$

Dengan:

$\mu_{prediksi}$ = Dugaan rata-rata rasio S/N pada kombinasi optimal

n_{eff} = Banyaknya pengamatan efektif
=

$$\frac{\text{Jumlah } h \text{ total eksperimen}}{1 + \text{jumlah } h \text{ derajat kebebasan faktor-faktor untuk menduga rata-rata}} \dots (2.35)$$

- b) *Confidence Interval* untuk memprediksi eksperimen konfirmasi

$$CI_2 = \sqrt{F_{\alpha;1;v_e} \cdot MS_e \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]} \dots (2.36)$$

Dengan:

r = Jumlah sample dalam eksperimen konfirmasi

4) Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi adalah percobaan yang dilakukan untuk memeriksa kesimpulan yang diperoleh. Eksperimen konfirmasi memiliki tujuan yaitu:

- Memverifikasi dugaan yang dibuat saat model, performansi, penentuan faktor, dan interaksi yang dibuatnya.

- b) Merancang parameter hasil analisis yang optimal dari hasil percobaan pada performansi yang diharapkan.

Langkah-langkah dari eksperimen konfirmasi adalah sebagai berikut:

- 1) Merancang kondisi optimal untuk faktor dan level yang signifikan.
- 2) Membandingkan rata-rata dan variansi hasil percobaan konfirmasi dengan rata-rata dan variansi yang diharapkan.

Eksperimen konfirmasi dinyatakan berhasil apabila:

- 1) Terjadi perbaikan dari hasil proses yang ada setelah eksperimen Taguchi dilakukan.
- 2) Hasil eksperimen konfirmasi mendekati nilai yang diprediksi.

2.8 Logika Fuzzy

Logika Fuzzy diperkenalkan pertama kali oleh Dr. Lotfi Zader pada tahun 1965. Logika ini merupakan suatu proses pengambilan keputusan berbasis aturan yang bertujuan untuk memecahkan masalah, dimana sistem tersebut sulit untuk dimodelkan atau terdapat ambiguitas dan ketidakjelasan yang berlimpah. Apabila logika klasik menyatakan bahwa segala hal dapat di ekspresikan dalam binary 0 atau 1, contohnya adalah „ON atau OFF“, „ya atau tidak“ dan sebagainya, logika fuzzy memungkinkan nilai keanggotaan antara 0 dan 1, contohnya adalah diantara nilai „besar“ dan „kecil“, terdapat nilai „tanggung“ dan sebagainya. Dengan teori himpunan fuzzy, suatu objek dapat menjadi anggota dari banyak himpunan dengan derajat keanggotaan yang berbeda pada setiap himpunan.

Alasan digunakannya Logika Fuzzy dalam mengidentifikasi suatu masalah adalah sebagai berikut:

- 1) Konsep logika fuzzy mudah dimengerti. Konsep matematis yang mendasari penalaran fuzzy sangat sederhana dan mudah dimengerti.
- 2) Logika fuzzy sangat fleksibel.
- 3) Logika fuzzy memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat.
- 4) Logika fuzzy mampu memodelkan fungsi-fungsi nonlinear yang sangat kompleks.
- 5) Logika fuzzy dapat membangun dan mengaplikasikan pengalaman-pengalaman para pakar secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan.
- 6) Logika fuzzy dapat bekerjasama dengan teknik-teknik kendali konvensional.
- 7) Logika fuzzy didasarkan pada bahasa alami.

Beberapa hal yang perlu dipelajari dalam sistem fuzzy adalah sebagai berikut:

- 1) Variabel fuzzy

Variabel fuzzy adalah variabel yang akan dibahas dalam suatu sistem fuzzy. Contohnya adalah ukuran, umur dan temperatur.

- 2) Himpunan fuzzy

Himpunan fuzzy adalah suatu kelompok yang mewakili suatu kondisi atau keadaan tertentu pada variabel fuzzy. Contohnya adalah variabel ukuran baju dibagi menjadi tiga, yaitu SMALL, MEDIUM dan LARGE.

- 3) Semesta pembicaraan

Semesta pembicaraan adalah keseluruhan nilai yang diperbolehkan masuk ke dalam variabel fuzzy untuk

dioperasikan. Semesta pembicaraan adalah bilangan real yang nilainya senantiasa bertambah dari kiri ke kanan. Adakalanya nilai dari semesta pembicaraan tidak terbatas. Contohnya adalah semesta pembicaraan dari variabel umur adalah $[0, +\infty]$. Pada semesta pembicaraan terdapat baik nilai positif atau negatif. Semua bergantung pada variabel fuzzy yang digunakan.

4) *Domain*

Domain adalah keseluruhan nilai yang diperbolehkan masuk oleh semesta pembicaraan dan dapat dioperasikan pada himpunan fuzzy. Nilai dari *domain* sama dengan semesta pembicaraan yaitu bilangan real yang nilainya bertambah dari kiri ke kanan. Contohnya adalah:

$$\text{DINGIN} = [0, 15]$$

$$\text{HANGAT} = [15, 25]$$

$$\text{PANAS} = [25, 30]$$

2.8.1. Fungsi Keanggotaan (*Membership Function*)

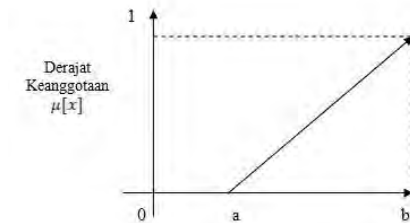
Fungsi keanggotaan adalah suatu kurva yang menunjukkan suatu pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya atau derajat keanggotaannya yang memiliki nilai antara 0 dan 1. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi. Pendekatan fungsi keanggotaan yang biasa digunakan dalam penalaran logika fuzzy, diantaranya: (belajaritsaja.com)

1. Representasi *linear*

Pada representasi *linear*, pemetaan *input* ke derajat keanggotaannya digambarkan sebagai sebuah garis lurus. Bentuk ini paling sederhana dan menjadi pilihan yang baik untuk mendekati suatu konsep yang kurang jelas.

Ada dua keadaan himpunan *fuzzy linear*. Pertama, kenaikan himpunan dimulai pada nilai *domain* yang memiliki derajat keanggotaan nol [0] bergerak ke kanan menuju ke nilai *domain* yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi yang disebut dengan representasi fungsi linear naik.

Representasi fungsi keanggotaan untuk linear naik adalah sebagai berikut :



Gambar 2.11. Representasi Linear Naik

$$\mu[x, a, b] = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ (x - a) / (b - a); & a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq b \end{cases}$$

Keterangan:

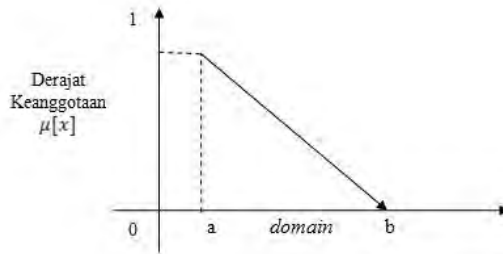
a = nilai *domain* yang mempunyai derajat keanggotaan nol

b = nilai *domain* yang mempunyai derajat keanggotaan satu

x = nilai input yang akan di ubah ke dalam bilangan fuzzy

Kedua, merupakan kebalikan yang pertama. Garis lurus dimulai dari nilai *domain* dengan derajat keanggotaan tertinggi pada sisi kiri, kemudian bergerak menurun ke nilai *domain* yang memiliki derajat keanggotaan lebih rendah.

Representasi fungsi keanggotaan untuk linear turun adalah sebagai berikut:



Gambar 2.12. Representasi Linear Turun

$$\mu[x, a, b] = \begin{cases} (b-x) / (b-a); & a \leq x \leq b \\ 0; & x \geq b \end{cases}$$

Keterangan:

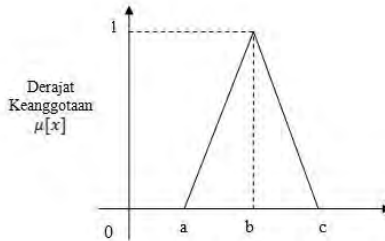
a = nilai *domain* yang mempunyai derajat keanggotaan satu

b = nilai *domain* yang mempunyai derajat keanggotaan nol

x = nilai input yang akan di ubah ke dalam bilangan *fuzzy*

2. Representasi Kurva Segitiga

Kurva segitiga pada dasarnya merupakan gabungan antara 2 garis (*linear*). Nilai-nilai disekitar b memiliki derajat keanggotaan turun cukup tajam (menjauhi 1).



Gambar 2.13. Representasi Kurva Segitiga

Representasi fungsi keanggotaan untuk kurva segitiga adalah sebagai berikut:

$$\mu_{[x, a, b, c]} = \begin{cases} 0 & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ (x-a) / (b-a); & a \leq x \leq b \\ (c-x) / (c-b); & b \leq x \leq c \end{cases}$$

Keterangan:

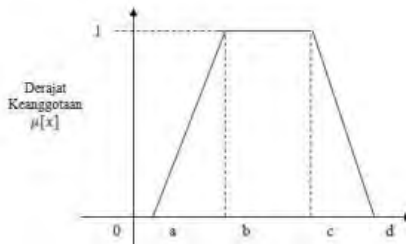
a = nilai *domain* terkecil yang mempunyai derajat keanggotaan nol

b = nilai *domain* yang mempunyai derajat keanggotaan satu

c = nilai *domain* terbesar yang mempunyai derajat keanggotaan nol

3. Reperentasi Kurva Trapesium

Kurva trapesium pada dasarnya seperti bentuk segitiga, hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1.



Gambar 2.14. Representasi Kurva Trapesium

Representasi fungsi keanggotaan untuk kurva trapesium adalah sebagai berikut:

$$\mu[x, a, b, c, d] = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ (x-a) / (b-a); & a \leq x \leq b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ (d-x) / (d-c); & c \leq x \leq d \\ 0; & x \geq d \end{cases}$$

Keterangan:

a = nilai *domain* terkecil yang mempunyai derajat keanggotaan nol

b = nilai *domain* terkecil yang mempunyai derajat keanggotaan satu

c = nilai *domain* terbesar yang mempunyai derajat keanggotaan satu

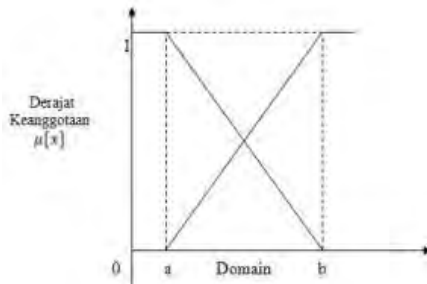
d = nilai *domain* terbesar yang mempunyai derajat keanggotaan nol

x = nilai input yang akan di ubah ke dalam bilangan fuzzy

4. Kurva Bentuk Bahu

Daerah yang terletak di tengah-tengah suatu variabel yang direpresentasikan dalam bentuk segitiga, pada sisi kanan dan kirinya akan naik turun. Tetapi terkadang salah

satu sisi dari variabel tersebut tidak mengalami perubahan. Himpunan *fuzzy* “bahu”, bukan segitiga, digunakan untuk mengakhiri variabel suatu daerah *fuzzy*. Bahu kiri bergerak dari benar ke salah, demikian juga bahu kanan bergerak dari salah ke benar.



Gambar 2.15. Representasi Kurva Bahu

Representasi fungsi keanggotaan untuk kurva bahu adalah sebagai berikut:

$$\mu[x, a, b] = \begin{cases} 0; & x \leq b \\ (b-x) / (b-a); & a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq a \\ 0; & x \leq a \\ (x-a) / (b-a); & a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq b \end{cases}$$

Selain fungsi di atas, masih ada beberapa fungsi keanggotaan logika fuzzy lainnya, seperti Representasi Kurva S dan Representasi Kurva Bentuk Lonceng (Bell Curve). Tetapi kedua Fungsi Keanggotaan Logika Fuzzy tersebut jarang dipakai untuk penelitian.

2.8.2. Fungsi Implikasi

Bentuk umum dari aturan yang digunakan untuk fungsi implikasi adalah if x is A then y is B, dengan x dan y

sebagai skalar, sedangkan A dan B adalah himpunan fuzzy. Proposisi yang terletak setelah *if* disebut antiseden, dan proposisi yang terletak setelah *then* disebut konsekuen. Secara umum ada dua fungsi implikasi yang digunakan dalam operasi fuzzy, yaitu:

1. Fungsi implikasi Min (minimum).
Fungsi ini memotong output himpunan fuzzy.
2. Fungsi implikasi Dot (product).
Fungsi ini menskala output himpunan fuzzy.

2.8.3. Sistem Inferensi Mamdani

Metode Mamdani sering juga dikenal dengan nama **metode Max-Min**. metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975 (Kusuma Dewi, 2003). Untuk mendapatkan *output* diperlukan beberapa tahapan, antara lain:

1. Pembentukan himpunan fuzzy.

Pada Metode Mamdani, baik variabel *input* maupun variabel *output* dibagi menjadi satu atau lebih himpunan fuzzy.

2. Aplikasi fungsi implikasi

Pada Metode Mamdani, fungsi implikasi yang digunakan adalah Min. Secara umum dapat dituliskan:

$$\mu_{A \cap B} = \min (\mu_A [x], (\mu_B [x],)$$

3. Komposisi aturan

Tidak seperti penalaran monoton, apabila sistem terdiri dari beberapa aturan, maka inferensi diperoleh dari kumpulan dan kolerasi antar aturan. Ada 3 metode yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem fuzzy, yaitu *max*, *additive* dan *probabilistik OR* (probor).

1. Metode *Max* (*Maximum*)

Metode *Max (Maximum)* mengambil solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan, kemudian menggunakannya untuk memodifikasi daerah fuzzy, dan mengapilaskannya ke *output* dengan menggunakan operator OR (*union*). Jika semua proposisi telah dievaluasi, maka *output* akan berisi suatu himpunan fuzzy yang merefleksikan kontribusi dari tiap-tiap proporsi. Secara umum dapat dituliskan:

$$\mu_{sf}[x_i] \leftarrow \max (\mu_{sf}[x_i], \mu_{kf}[x_i])$$

dengan:

$\mu_{sf}[x_i]$ = nilai keanggotaan solusi fuzzy sampai aturan ke-i

$\mu_{kf}[x_i]$ = nilai keanggotaan konsekuen fuzzy sampai aturan ke-i

2. Metode Additive (Sum)

Metode *Additive (Sum)* mengambil solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara melakukan *bounded-sum* terhadap semua *output* daerah fuzzy. Secara umum dituliskan:

$$\mu_{sf}[x_i] \leftarrow \min (1, \mu_{sf}[x_i] + \mu_{kf}[x_i])$$

dengan:

$\mu_{sf}[x_i]$ = nilai keanggotaan solusi fuzzy sampai aturan ke-i

$\mu_{kf}[x_i]$ = nilai keanggotaan konsekuen fuzzy sampai aturan ke-i

3. Metode Probabilistik OR (probor)

Metode Probabilitik OR (probor) mengambil solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara melakukan *product* terhadap semua *output* daerah fuzzy. Secara umum dituliskan:

$$\mu_{sf}[x_i] \leftarrow -(\mu_{sf}[x_i] + \mu_{kf}[x_i]) - (\mu_{sf}[x_i] * \mu_{kf}[x_i])$$

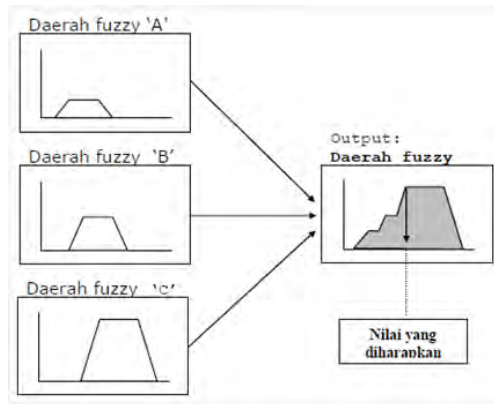
dengan:

$\mu_{sf}[x_i]$ = nilai keanggotaan solusi *fuzzy* sampai aturan ke-*i*

$\mu_{kf}[x_i]$ = nilai keanggotaan konsekuen *fuzzy* sampai aturan ke-*i*

4. Penegasan (*defuzzyfikasi*)

Input dari proses *defuzzyfikasi* adalah suatu himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan *fuzzy*, sedangkan *output* yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada *domain* himpunan *fuzzy* tersebut. Sehingga jika diberikan suatu himpunan *fuzzy* dalam range tertentu sebagai *output* seperti terlihat pada Gambar berikut.



Gambar 2.16. Proses Defuzzifikasi

Ada beberapa **metode defuzzifikasi** pada komposisi aturan MAMDANI (Kusuma Dewi, 2003), antara lain:

1. Metode *Centroid* (Composite Moment). Pada metode centroid solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil titik pusat daerah *fuzzy*. Secara umum dapat dituliskan:

$$Z^* = \frac{\int_z^n z \mu(z) dz}{\int_z^n \mu(z) dz} \rightarrow \text{untuk semesta kontinu}$$

$$Z^* = \frac{\sum_{j=1}^n z_j \mu(z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(z_j)} \rightarrow \text{untuk semesta diskret}$$

2. Metode Bisektor. Pada metode bisektor solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai pada *domain* yang memiliki nilai keanggotaan separuh dari jumlah total nilai keanggotaan pada daerah *fuzzy*.
3. Metode *Mean of Maximum* (MOM). Pada metode *mean of maximum* solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata *domain* yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.
4. Metode *Largest of Maximum* (LOM). Pada metode *largest of maximum* solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai terbesar dari *domain* yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.
5. Metode *Smallest of Maximum* (SOM). Pada metode *smallest of maximum* solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai terkecil dari *domain* yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

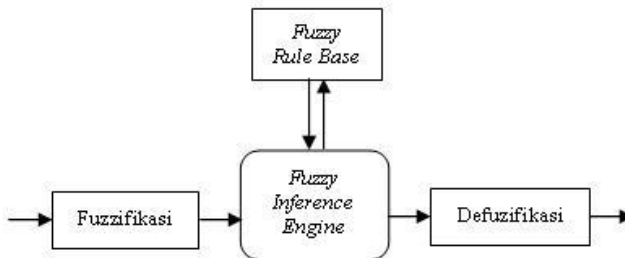
2.9 Penggunaan Metode Taguchi dan Logika Fuzzy

Penggunaan metode Taguchi hanya dapat melakukan optimasi satu respon. Digunakan gabungan dari metode Taguchi dan logika Fuzzy agar dapat melakukan optimasi beberapa respon secara serentak.

Logika Fuzzy diciptakan oleh Dr. Lotfi Zader dari Universitas California, Berkelev pada tahun 1965. Dr. Zader memodifikasi teori himpunan sehingga setiap anggotanya memiliki derajat keanggotaan yang bernilai kontinyu antara

nol sampai satu. Himpunan ini disebut himpunan kabur (Fuzzy Set).

Logika Fuzzy memiliki kemampuan dalam menangkap pertimbangan akal sehat manusia dan pengambilan keputusan serta aspek kognitif manusia yang lainnya. Ketidakjelasan dalam batasan dapat secara alami dimodelkan dengan logika Fuzzy (Dhavamani, 2011). Oleh karena itu, ketidakjelasan dalam memberikan pembobotan dapat diatasi dengan logika Fuzzy.



Gambar 2.17. Struktur Proses Logika Fuzzy
(nurmuhlis.wordpress.com)

Langkah awal dari proses Fuzzy adalah proses Fuzzifikasi seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.17. Fuzzifikasi adalah proses yang dilakukan untuk mengubah variabel nyata menjadi variabel fuzzy, ini ditujukan agar masukan kontroler fuzzy bisa dipetakan menuju jenis yang sesuai dengan himpunan fuzzy. Variabel nyata dalam hal ini adalah rasio S/N. Pemetaan dilakukan dengan bantuan model dari fungsi keanggotaan agar dapat diketahui besar masukan tersebut (derajat keanggotaan). Sistem Inferensi Fuzzy (*Fuzzy Inference System/FIS*) disebut juga *fuzzy inference engine* adalah sistem yang dapat melakukan

penalaran dengan prinsip serupa seperti manusia melakukan penalaran dengan nalurinya. Pada akhirnya proses defuzzifikasi akan mengubah nilai fuzzy menjadi Multi Respon Performance Index (MRPI). Langkah-langkah untuk proses metode Taguchi dan Logika Fuzzy adalah sebagai berikut :

1. Menghitung nilai S/N ratio untuk setiap respon.

Perhitungan rasio S/N dilakukan berdasarkan karakteristik dari masing-masing respon sesuai dengan persamaan 2.27. sampai persamaan 2.29.

2. Proses Fuzzifikasi, menggunakan fungsi keanggotaan fuzzy.

Proses fuzzifikasi adalah proses pengubahan nilai awal, yaitu rasio S/N menjadi bilangan fuzzy dengan menggunakan fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan adalah suatu kurva yang menunjukkan suatu pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya atau derajat keanggotaannya.

Interval nilai keanggotaan yang digunakan disesuaikan dengan rasio S/N yang didapat. Pendekatan fungsi digunakan sebagai salah satu cara untuk mendapatkan nilai keanggotaan. Fungsi keanggotaan yang umum digunakan dalam penelitian adalah fungsi keanggotaan kurva segitiga dan kurva trapesium. Fungsi keanggotaan kurva segitiga dapat dilihat pada gambar 2.13 dan kurva trapesium pada gambar 2.14.

3. Mengaplikasikan *Fuzzy Rule Base*.

Fuzzy rule base berisi pernyataan-pernyataan logika fuzzy (fuzzy statement), yang berbentuk pernyataan IF-THEN. Setelah dilakukan fuzzifikasi untuk setiap masukan dan keluaran, maka langkah berikutnya yaitu membuat

aturan (rule base). Rule base ini terdiri dari kumpulan aturan yang berbasis logika fuzzy untuk menyatakan suatu kondisi. penyusunan rule base sangat berpengaruh pada presisi model, pada tahap pengambilan keputusan ditentukan berdasarkan rancangan rule base. aturan If-then yang dihubungkan dengan logika operasi AND dan OR.

4. Proses Defuzzifikasi, menghasilkan Fuzzy Reasoning Grade.

Defuzzifikasi adalah langkah terakhir dalam suatu sistem logika fuzzy dimana tujuannya adalah mengkonversi setiap hasil dari inference engine yang diekspresikan dalam bentuk fuzzy set ke suatu bilangan real dalam bentuk Fuzzy Reasoning Grade (FRG). Metode yang digunakan dalam eksperimen ini adalah metode Centroid. Penjelasan lebih lanjut metode ini dapat dilihat pada sub sub-bab 2.8.3. poin 4.

5. Membuat tabel respon dan grafik respon untuk setiap respon untuk setiap level dari parameter atau variabel proses..

Semakin besar nilai FRG maka semakin baik pula respon dari proses pada kombinasi parameter tersebut. Penentuan kombinasi parameter terbaik dapat diketahui melalui pembuatan tabel respon dari FRG sebagai berikut:

Tabel 2.5. Tabel Respon Fuzzy Reasoning Grade

No. Parameter	Level 1	Level 2	Level j
Parameter 1	Y_{11}	-	Y_{1j}
Parameter 2	Y_{21}	-	Y_{2j}
-	-		
Parameter i	Y_{i1}	Y_{i2}	Y_{ij}
Max-Min	Q_1	Q_2	Q_j

Y_{ij} adalah rata-rata nilai FRG yang dikelompokkan berdasarkan parameter i dan level j.

Grafik respon dibuat berdasarkan tabel respon untuk memudahkan pemilihan level dari parameter yang menghasilkan respon yang optimal.

6. Melakukan setting parameter atau variabel yang menghasilkan respon yang meningkatkan kekuatan tarik dan impact.

Setting kombinasi parameter respon optimal adalah nilai rata-rata nilai FRG terbesar untuk setiap parameter proses.

7. Menghitung Prediksi Fuzzy Reasoning Grade (FRG) untuk kondisi yang menghasilkan respon yang meningkatkan kekuatan tarik dan impact.

Nilai Prediksi FRG berdasarkan kombinasi level parameter untuk menghasilkan respon yang optimal dirumuskan sebagai berikut:

$$\hat{\gamma} = \gamma_m + \sum_{i=0}^o (\gamma_i - \gamma_m) \dots (2.37)$$

Dengan:

$\hat{\gamma}$ = Nilai rata-rata dari keseluruhan FRG

γ_m = Nilai rata-rata FRG pada level optimal

o = Jumlah parameter yang mempengaruhi respon secara signifikan

8. Melakukan validasi terhadap hasil yang maksimal.

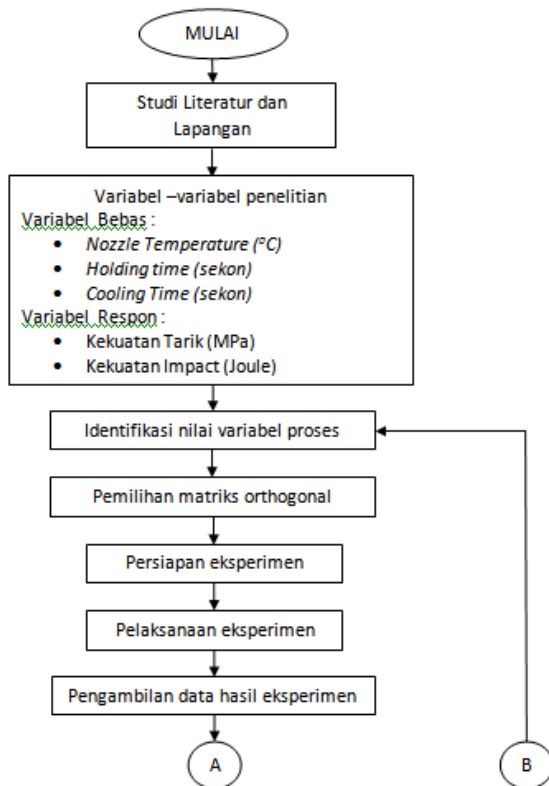
Validasi dilakukan dengan melakukan eksperimen konfirmasi. Pemilihan setting kombinasi parameter proses pada eksperimen konfirmasi berdasarkan nilai terbesar dari FRG. Kemudian dilakukan perhitungan interval keyakinan untuk nilai optimasi atau prediksi sesuai persamaan 2.33. dan nilai eksperimen konfirmasi sesuai persamaan 2.36. Hasil akan dikatakan valid apabila nilai eksperimen konfirmasi masih berada dalam daerah atau tumpang tindih terhadap interval keyakinan atau prediksi maksimal.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

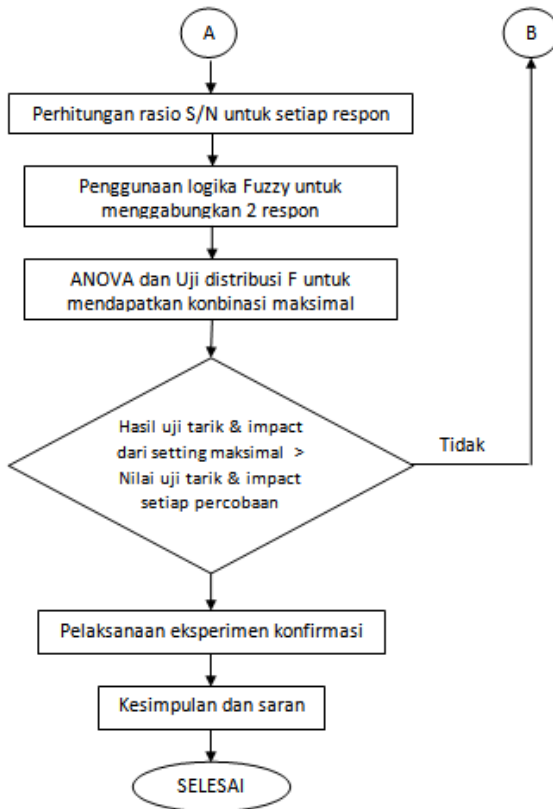
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam memilih parameter untuk meningkatkan kekuatan spesimen tarik dan *impact* pada proses injeksi plastik dalam Tugas Akhir ini ditunjukkan dengan diagram alir seperti dibawah ini :



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian



Gambar 3.2 Diagram alir penelitian (lanjutan)

3.2. Tahap-tahap Penelitian

Langkah-langkah yang dilaksanakan dalam memilih parameter untuk meningkatkan kekuatan spesimen tarik dan *impact* pada proses injeksi plastik secara garis besar diuraikan sebagai berikut:

3.2.1 Studi literatur dan Lapangan

Literatur yang dipelajari dalam penelitian ini meliputi proses injeksi plastik, sifat-sifat plastik, metode Taguchi, logika Fuzzy, dan hal-hal lain yang berkaitan dengan penelitian dan studi lapangan untuk mempelajari mesin injeksi yang tersedia di jurusan teknik mesin ITS.

3.2.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah faktor yang dapat dikendalikan dan nilainya dapat diubah berdasarkan tujuan dari penelitian yang dilakukan. Pada eksperimen ini variabel bebasnya adalah sebagai berikut:

1. *Holding time* (Sekon)
2. *Nozzle Temperature* ($^{\circ}\text{C}$)
3. *Cooling Time* (Sekon)

2. Variabel Respon

Variabel respon adalah respon yang akan diamati dalam penelitian. Pada eksperimen ini variabel responnya adalah sebagai berikut:

1. Kekuatan Tarik (MPa)
2. Kekuatan *Impact* (Joule)

Selain kedua variabel yang disebutkan, terdapat juga dua faktor lain yang harus diperhatikan dalam suatu penelitian, yaitu:

1. Faktor Konstan

Faktor konstan adalah faktor yang tidak diteliti dan nilainya dijaga selalu konstan agar tidak mempengaruhi hasil penelitian secara signifikan. Faktor konstan pada eksperimen ini adalah sebagai berikut:

1. Tekanan injeksi
2. Tekanan tahan
3. Kecepatan injeksi

4. Kecepatan tahan
5. Waktu injeksi

2. Faktor Noise

Faktor Noise adalah faktor gangguan yang memiliki pengaruh terhadap respon dan nilainya sulit dikendalikan. Faktor-faktor yang mungkin menjadi noise pada eksperimen ini adalah kualitas resin (biji plastik).

3.2.3 Identifikasi nilai variabel

Penentuan setting faktor pada mesin injeksi plastik dilakukan berdasarkan material plastik yang digunakan dan percobaan yang diulang-ulang untuk mendapatkan faktor konstan yang menghasilkan spesimen tanpa cacat secara visual. Nilai variabel pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.1. untuk faktor konstan dan tabel 3.2 untuk variabel bebas.

Tabel 3.1. Nilai pada faktor konstan

No	Faktor Konstan	Nilai/ kode nilai	
1	Tekanan injeksi	40	45
2	Kecepatan injeksi	40	45
3	Waktu injeksi	0.8	
4	Tekanan tahan	0	40
5	Kecepatan tahan	0	35

Tabel 3.2. Nilai pada variabel bebas

Faktor/ Parameter Proses	Satuan	Level 1	Level 2	Level 3
A <i>Nozzle Temperature</i>	⁰ C	220	225	230
B <i>Holding time</i> (waktu tahan)	Sekon	5	10	15
C <i>Cooling Time</i> (waktu pendinginan)	Sekon	10	15	20

3.2.4 Pemilihan matriks orthogonal

Matriks orthogonal yang akan digunakan harus memiliki derajat kebebasan yang sama atau lebih besar daripada total derajat kebebasan faktor dan level yang telah ditetapkan. Derajat kebebasan faktor dan level dihitung berdasarkan rumus atau persamaan 2.12 dan disajikan pada tabel 3.3. sebagai berikut:

Tabel 3.3. Total derajat kebebasan faktor dan level

No	Faktor	Jumlah level (k)	$df (k-1)$
1	<i>Nozzle Temperature (A)</i>	3	2
2	<i>Holding time (B)</i>	3	2
3	<i>Cooling Time (C)</i>	3	2
	Total	6	

Tabel 3.3. menunjukkan bahwa total derajat kebebasan faktor dan level yang digunakan adalah enam. Hal ini mengakibatkan derajat kebebasan minimum yang harus dimiliki oleh matriks orthogonal adalah enam. Oleh karena itu, sesuai dengan pilihan yang tersedia, matriks orthogonal $L_9(3^4)$ memenuhi syarat untuk dijadikan sebagai rancangan percobaan.

Berdasarkan matriks orthogonal standar yang ditunjukkan pada tabel 2.3. dapat diketahui bahwa:

- Faktor A ditempatkan pada kolom 1
- Faktor B ditempatkan pada kolom 2
- Faktor C ditempatkan pada kolom 3

Pada eksperimen ini tidak mengakomodasi adanya interaksi antar faktor, sehingga rancangan percobaan matriks orthogonal $L_9(3^4)$ ditunjukkan oleh tabel 3.4. sebagai berikut:

Tabel 3.4. Rancangan percobaan Taguchi

Experiment	Column
------------	--------

Number	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

Percobaan dilakukan secara acak dengan mengacu pada rancangan percobaan di atas, Pengacakan ini dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak *Minitab 16*. Masing-masing eksperimen akan dilakukan dengan replikasi sebanyak 2 kali untuk mengatasi faktor gangguan atau noise yang terjadi selama proses baik injeksi plastik ataupun uji tarik dan uji impact berlangsung. Bila data hasil eksperimen dikumpulkan sesuai dengan kombinasi setting faktor yang sejenis, maka tampilan data akan diperoleh sebagai berikut:

Tabel 3.5. Tampilan data hasil eksperimen

Setting Faktor /Kombinasi ke-	Kekuatan Tarik (MPa)			Kekuatan Impact (Joule)		
1	Y111	Y112	Y113	Y121	Y122	Y123
2	Y211	Y212	Y213	Y221	Y222	Y223
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
9	Y911	Y912	Y913	Y921	Y922	Y923

Keterangan: Y_{ijk} adalah data untuk kombinasi setting faktor ke- i , respon ke- j dan replikasi ke- k , dengan $i = 1, \dots, 9$; $j = 1, 2, 3$; $k = 1, 2$.

3.2.5 Persiapan eksperimen

Pada persiapan eksperimen ini hal-hal yang harus dilakukan terlebih dahulu adalah sebagai berikut:

- 1 Menyalakan saklar utama
- 2 Memastikan bagian mesin dalam kondisi normal
- 3 Menyalakan motor
- 4 Menyalakan Heater dan memastikan reservoir pada cooling tower terisi penuh
- 5 Menyalakan pompa
- 6 Membuka dan kemudian menutup safety door
- 7 Memastikan mold base dalam kondisi aman dan bersih`
- 8 Setelah menunggu Heater selama 1 s/d 1,5 jam, memanaskan nozzle dengan elemen pemanas selama ± 15 menit
- 9 Memastikan Hopper terisi oleh biji plastik
- 10 Mensetting temperatur sesuai dengan biji plastik yang digunakan
- 11 Mendorong unit injeksi menuju mold base
- 12 Persiapan mesin injeksi selesai dan mulai menjalankan eksperimen

3.2.6 Pelaksanaan eksperimen

Pada mesin injeksi plastik dimasukkan nilai faktor konstan dan kombinasi-kombinasi yang terjadi seperti yang tersaji pada tabel 3.4. Untuk satu kali injeksi dihasilkan enam spesimen uji tarik dan uji impact, sehingga hanya dilakukan sembilan kali injeksi. Untuk pengujian tarik dan impact dilakukan sebanyak 18 kali karena setiap kombinasi dilakukan replikasi sebanyak tiga kali.

3.2.7 Pengambilan data hasil eksperimen

Setelah spesimen diproduksi untuk setiap kombinasi, segera diuji menggunakan mesin uji tarik dan uji *impact* sehingga data hasil eksperimen dapat diambil.

3.2.8 Perhitungan rasio S/N untuk setiap respon

Rasio S/N untuk masing-masing respon dihitung berdasarkan persamaan 2.27 sampai dengan 2.29. Dalam penelitian ini jenis rasio S/N yang digunakan untuk respon kekuatan tarik dan kekuatan *impact* adalah ‘Bigger the Better’ atau ‘semakin besar semakin baik’ dan disajikan dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 3.6. Perhitungan rasio S/N masing-masing respon

Kombinasi parameter ke-	Rasio S/N	
	Kekuatan Tarik	Kekuatan <i>Impact</i>
1		
2		
3		
-		
-		
9		

3.2.9 Penggunaan logika Fuzzy untuk menggabungkan 2 respon

Penggunaan logika Fuzzy untuk menggabungkan 2 respon dilakukan sesuai dengan penjelasan pada sub-bab 2.9. yaitu:

1. Menghitung nilai S/N ratio untuk setiap respon.
2. Proses Fuzzifikasi.
3. Mengaplikasikan *Fuzzy Rule Base*.
4. Proses Defuzzifikasi

3.2.10 Kombinasi nilai parameter proses yang menghasilkan respon yang meningkatkan kekuatan tarik dan impact.

Setelah proses defuzzifikasi, nilai parameter proses yang menghasilkan respon peningkatan kekuatan tarik dan impact tersebut dikombinasi dan dihitung nilai prediksi rasio S/N yang optimal sesuai dengan persamaan 2.32. dan dihitung Interval keyakinan (*Confidence Interval*) untuk kondisi perlakuan yang diprediksi sesuai dengan persamaan 2.35.

3.2.11 Pelaksanaan eksperimen konfirmasi

Setelah didapat nilai setiap variabel yang menghasilkan respon yang menghasilkan respon yang meningkatkan kekuatan tarik dan impact, eksperimen dengan kombinasi variabel tersebut dilakukan untuk mengkonfirmasi apakah respon yang dihasilkan meningkat nilai kekuatan tarik dan impact-nya atau tidak dan dihitung Interval keyakinan (*Confidence Interval*) untuk eksperimen konfirmasi sesuai dengan persamaan 2.36.

3.2.12 Kesimpulan dan saran

Setelah didapat nilai eksperimen konfirmasi dari penelitian ini, diambil kesimpulan tentang hubungan variabel bebas dan variabel respon secara ilmu pengetahuan dan yang memberikan kontribusi paling banyak diantara variabel bebas dan besar kontribusinya terhadap respon.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Eksperimen

Pelaksanaan eksperimen dilakukan dengan mengkombinasikan faktor-faktor yang diduga berpengaruh terhadap respon kekuatan spesimen tarik dan *impact* pada proses injeksi plastik, yaitu *Nozzle Temperature* (A), *Holding time* (B) dan *Cooling Time* (C). Pengambilan data dilakukan setelah spesimen dengan semua kombinasi faktor dibuat pada mesin injeksi plastik. Karena setiap 1 kali injeksi menghasilkan 6 spesimedilihatn uji tarik dan uji *impact*, seperti yang terlihat pada gambar 4.1. , maka eksperimen cukup dilakukan 9 kali untuk 9 kombinasi. Untuk pengambilan data digunakan replikasi sebanyak 3 kali untuk setiap kombinasi untuk mengurangi faktor noise yang terjadi. Data hasil eksperimen berada pada Lampiran dan digunakan persamaan 2.2 untuk menghitung nilai kekuatan tarik dan persamaan 2.9 untuk kekuatan *impact*. Berikut contoh perhitungan dan tabel 4.1 menunjukkan semua data yang telah dihitung nilainya:

Perhitungan Kekuatan Tarik

$$S_{11} = \frac{P}{A}$$

$$S_{11} = \frac{32 \text{ Kgf}}{36 \text{ mm}^2}$$

$$S_{11} = 888,99 \times 10^{-3} \text{ Kgf/mm}^2$$

$$S_{11} = 8,718 \text{ MPa}$$

Perhitungan Kekuatan Impact

Dengan: Massa bandul (W) = 0,75 kg

Panjang lengan bandul (ℓ) = 0,3362 meter

$$I_{11} = W\ell(\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$I_{11} = 0,75 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 * 0,3362(\cos 87 - \cos 90)$$

$$I_{11} = 0,129 \text{ Joule}$$

Tabel 4.1. Data Hasil Eksperimen

Setting Faktor /Kombinasi ke-	Kekuatan Tarik (MPa)			Kekuatan Impact (Joule)		
1	8,718	9,398	9,126	0,129	0,173	0,173
2	9,262	8,717	8,989	0,173	0,173	0,173
3	9,126	9,262	9,262	0,216	0,259	0,259
4	8,717	9,126	9,126	0,259	0,259	0,259
5	9,398	9,126	9,262	0,259	0,259	0,259
6	8,989	8,989	9,126	0,216	0,259	0,216
7	9,126	8,581	8,717	0,302	0,302	0,302
8	8,445	8,581	8,717	0,259	0,259	0,259
9	9,262	8,445	8,717	0,259	0,302	0,302

4.2 Perhitungan Nilai Rasio S/N

Rasio S/N digunakan untuk memilih faktor-faktor yang memiliki kontribusi pada suatu respon. Rasio S/N juga merupakan rancangan untuk melakukan transformasi pengulangan data ke dalam suatu nilai yang merupakan ukuran variasi yang terjadi. Pada Eksperimen ini karakteristik respon rasio S/N yang digunakan adalah semakin besar semakin baik (Larger the Better), baik untuk

respon kekuatan tarik dan *impact*. Sebagai contoh perhitungan rasio S/N adalah sebagai berikut:

$$S/N (Kt) = -10 \log \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2$$

$$S/N (Kt) = -10 \log \left[\frac{1}{3} \times 8,718^2 + 9,398^2 + 9,1262 \right]$$

$$S/N (Kt) = 1,917$$

Sesuai perhitungan di atas, nilai rasio S/N untuk setiap kombinasi dan setiap respon ditunjukkan pada tabel 4.2. sebagai berikut:

Tabel 4.2. Data Rasio S/N setiap respon

Setting Faktor / Kombinasi Ke-	Faktor			Rasio S/N	
	A	B	C	Kekuatan Tarik	Kekuatan Impact
1	1	1	1	1,917	-1,593
2	1	2	2	1,908	-1,524
3	1	3	3	1,929	-1,220
4	2	1	2	1,908	-1,173
5	2	2	3	1,933	-1,173
6	2	3	1	1,912	-1,272
7	3	1	3	1,890	-1,040
8	3	2	1	1,867	-1,173
9	3	3	2	1,890	-1,080

4.3 Fuzzifikasi

Fuzzifikasi adalah proses pengubahan input nilai menjadi bilangan fuzzy dengan menggunakan fungsi keanggotaan. Dalam penelitian ini nilai input yang akan diubah adalah rasio S/N pada respon kekuatan tarik dan *impact*. Fungsi keanggotaan yang akan digunakan pada eksperimen ini adalah bentuk kurva segitiga yang secara

uniform didefinisikan sebagai 3 fuzzy subsets, yaitu small (S), medium (M) dan large (L).

Fungsi keanggotaan dari setiap rasio S/N berdasarkan kurva segitiga adalah sebagai berikut:

Respon Kekuatan Tarik :

$$\begin{aligned} \mu_{small}(x) &= \begin{cases} 1; & x = 1,867 \\ \frac{1,897 - x}{1,897 - 1,860}; & 1,867 < x < 1,900 \\ 0; & x \geq 1,900 \end{cases} \\ \mu_{medium}(x) &= \begin{cases} 0; & x = 1,867; x = 1,933 \\ \frac{x}{1,897}; & 1,867 < x < 1,900 \\ \frac{1,933 - x}{1,933 - 1,897}; & 1,900 < x < 1,933 \\ 1; & x = 1,900 \end{cases} \end{aligned}$$

$$\mu_{large}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 1,900 \\ \frac{x - 1,897}{1,933 - 1,897}; & 1,900 < x < 1,933 \\ 1; & x = 1,933 \end{cases}$$

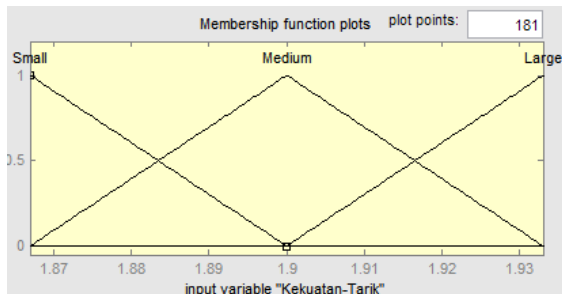
Respon Kekuatan Impact :

$$\mu_{small}(x) = \begin{cases} 1; & x = -1,593 \\ \frac{-1,336 - x}{-1,336 - (-1,633)}; & -1,593 < x < -1,317 \\ 0; & x \geq -1,317 \end{cases}$$

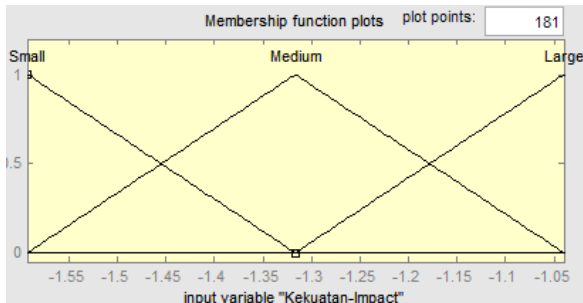
$$\mu_{medium}(x) = \begin{cases} 0; & x = -1,593; x = -1,040 \\ \frac{x}{-1,336}; & -1,593 < x < -1,317 \\ \frac{1,933 - x}{1,933 - 1,897}; & -1,317 < x < -1,040 \\ 1; & x = -1,317 \end{cases}$$

$$\mu_{large}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq -1,317 \\ \frac{x - 1,897}{1,933 - 1,897}; & -1,317 < x < -1,040 \\ 1; & x = -1,040 \end{cases}$$

Gambar dari fungsi keanggotaan untuk respon kekuatan tarik dan kekuatan impact dapat dilihat pada gambar 4.1 dan 4.2. berikut ini:

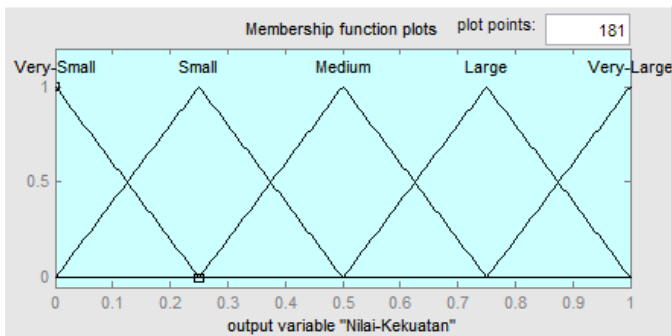


Gambar 4.1. Fungsi keanggotaan untuk kekuatan tarik



Gambar 4.2. Fungsi keanggotaan untuk kekuatan impact

Variabel output dari logika Fuzzy pada eksperimen ini adalah Fuzzy Reasoning Grade yang akan diubah menjadi bilangan fuzzy linguistik dengan menggunakan fungsi keanggotaan berbentuk segitiga. Fungsi keanggotaan dari output tersebut didefinisikan menjadi 5 subset, yaitu very small (VS), small (S), medium (M), large (L) dan very large (VL) seperti pada gambar 4.3. berikut ini:



Gambar 4.3. Fungsi keanggotaan multirespon Fuzzy Reasoning Grade

4.4 Fuzzy Rules

Pada penelitian ini, pembuatan Fuzzy Rules didasarkan pada variabel input yaitu nilai rasio S/N setiap respon dan variabel outputnya yang berbentuk Fuzzy Reasoning Grade (FRG).

Penelitian ini menggunakan kurva segitiga sebagai fungsi keanggotaan sehingga memiliki 3 fuzzy subsets dan 2 respon. Oleh karena itu, diperlukan 9 fuzzy rules untuk mengkombinasi seluruh input. Pada tabel 4.3. menunjukkan keseluruhan fuzzy rules yang digunakan pada penelitian ini.

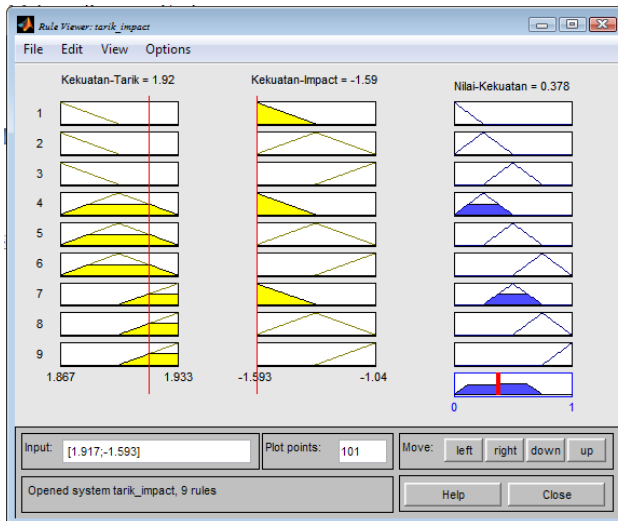
Tabel 4.3. Fuzzy Rules

		Kekuatan Impact		
		Small	Medium	Large
Kekuatan Tarik	Small	VS	S	M
	Medium	S	M	L
	Large	M	L	VL

Contoh pembacaan dari tabel 4.3. adalah jika kekuatan tarik kecil (S) dan kekuatan impact kecil (S), maka FRG adalah very small (VS), jika kekuatan tarik kecil (S) dan kekuatan impact sedang (M), maka FRG adalah kecil (S) dan seterusnya.

4.5 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah proses pengubahan kembali output himpunan bilangan fuzzy, menjadi himpunan bilangan asli/ tegas yang disebut FRG. Proses defuzzifikasi menggunakan metode centroid (titik tengah) pada software Matlab. Ilustrasi aturan fuzzy untuk proses defuzzifikasi dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5. Proses defuzzifikasi menggunakan software Matlab

Pada tabel 4.4. menunjukkan hasil proses defuzzifikasi yang berupa nilai FRG untuk setiap kombinasi faktor yang mewakili variabel respon kekuatan tarik dan *impact*.

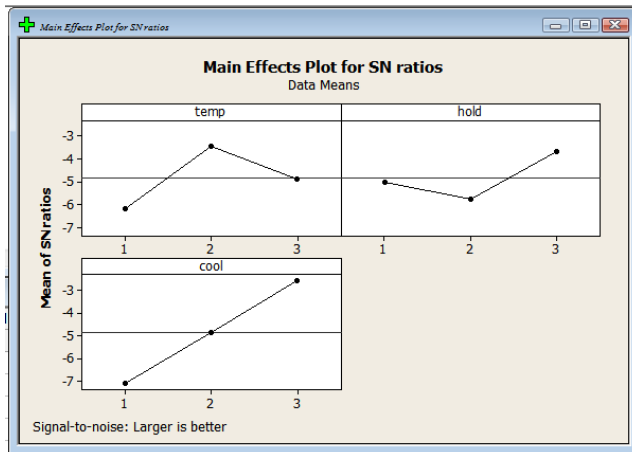
Tabel 4.4. Fuzzy Reasoning Grade

Kombinasi Faktor ke-	Rasio S/N		Fuzzy Reasoning Grade (FRG)
	Kekuatan Tarik	Kekuatan <i>Impact</i>	
1	1,917	-1,593	0,378
2	1,908	-1,524	0,411
3	1,929	-1,220	0,723
4	1,908	-1,173	0,638
5	1,933	-1,173	0,785
6	1,912	-1,272	0,602

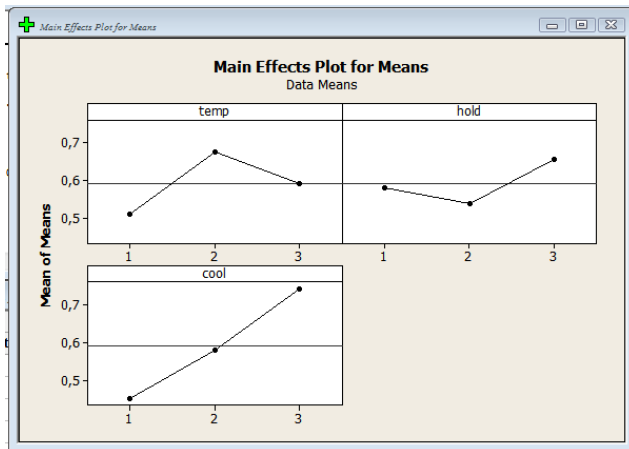
7	1,890	-1,040	0,666
8	1,867	-1,173	0,379
9	1,890	-1,080	0,610

4.6 Hasil Optimasi

Untuk dapat mengetahui level faktor yang memaksimalkan nilai respon baik kekuatan tarik dan impact secara serentak, nilai FRG tersebut akan digunakan pada metode Taguchi sebagai respon. Dengan menggunakan software Minitab 16 akan didapat grafik mean dan rasio S/N terhadap setiap level parameter yang menghasilkan respon peningkatan kekuatan tarik dan impact.. Berikut adalah gambar grafik mean dan rasio S/N untuk setiap level parameter:



Gambar 4.6. Grafik rasio S/N untuk setiap level parameter



Gambar 4.7. Grafik mean untuk setiap level parameter

Dari gambar 4.6 dan 4.7 diketahui kombinasi level parameter yang dapat meningkatkan respon kekuatan tarik dan impact secara serentak ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 4.5. Kombinasi parameter proses untuk respon maksimal

Parameter Proses	Level Faktor	Nilai Level
<i>Nozzle Temperature (A)</i>	2	225 °C
<i>Holding time (B)</i>	3	15 sekon
<i>Cooling Time (C)</i>	3	20 sekon

4.7 Analisa Variansi, Uji Distribusi F dan persen Kontribusi

Analisa variansi digunakan untuk mengetahui apakah parameter proses tersebut mempengaruhi respon secara signifikan atau tidak dan besarnya kontribusi faktor terhadap respon. Dengan menggunakan software Minitab 16 didapatkan nilai kuadrat jumlah (Sum of Square) atau SS,

nilai tengah dari SS yaitu MS, nilai F dan nilai P-value untuk setiap parameter sesuai dengan tabel 4.6. Untuk perhitungan % kontribusi digunakan persamaan 2.30 dan 2.31 dan hasilnya ditabelkan pada tabel 4.6 sebagai berikut:

$$\% \text{ kontribusi} = \frac{SS_a - v_a \cdot MS_E}{SS_T} \times 100\%$$

Dan contoh perhitungan untuk persentase kontribusi parameter *Nozzle Temperature* sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \% \text{ kontribusi Nozzle Temp.} &= \frac{0,046724 - 2 * 0,000758}{0,184297} \times 100\% \\ \% \text{ kontribusi Nozzle Temp.} &= 24,529 \end{aligned}$$

Tabel 4.6. Analisa variansi dan persen kontribusi faktor pada rata-rata FRG

Parameter	D F	SS	MS	F	p- valu e	% Kontribus i
Nozzle Temp.	2	0,04672 4	0,02336 2	30,8 2	0,03 1	24,529
Hold Time	2	0,02278 4	0,01139 2	15,0 3	0,06 2	11,540
Cool	2	0,11327	0,05663	74,7	0,01	60,639

Time		2	6	1	3	
Error	2	0,00151 6	0,00075 8			3,292
Total	8	0,18429 7				

Dari tabel di atas dapat diketahui urutan parameter yang memiliki kontribusi yang tertinggi adalah parameter *Cooling Time* dengan 65,68%, kemudian *Nozzle Temperature* dengan 21,06% dan yang terakhir adalah *Holding time* dengan 10,2%. Nilai F_{hitung} yang lebih besar dari F_{tabel} mengindikasikan bahwa parameter tersebut memiliki pengaruh yang signifikan terhadap multirespon. Hipotesa nol dan hipotesa alternatif yang digunakan pada uji hipotesa dengan menggunakan distribusi F adalah sebagai berikut:

1. Untuk Faktor A (*Nozzle Temperature*)

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor A terhadap multirespon

H_1 : Ada pengaruh Faktor A terhadap multirespon

Kesimpulan: $F_{hitung} = 30,82 > F(0,05;2;2) = 19,00$, maka H_0 ditolak, artinya terdapat pengaruh yang signifikan dari parameter *Nozzle Temperatur* terhadap multirespon.

2. Untuk Faktor B (*Holding time*)

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor B terhadap multirespon

H_1 : Ada pengaruh Faktor B terhadap multirespon

Kesimpulan: $F_{hitung} = 15,03 < F(0,05;2;2) = 19,00$, maka H_0 gagal ditolak, artinya tidak terdapat pengaruh yang signifikan dari parameter *Holding time* terhadap multirespon.

3. Untuk Faktor C (*Cooling Time*)

H₀ : Tidak ada pengaruh faktor C terhadap multirespon

H₁ : Ada pengaruh Faktor C terhadap multirespon

Kesimpulan: $F_{Hitung} = 74,71 > F(0,05;2;2) = 19,00$, maka H₀ ditolak, artinya terdapat pengaruh yang signifikan dari parameter *Cooling Time* terhadap multirespon.

Sehingga didapatkan tabel 4.8 yaitu tabel kondisi H₀ untuk setiap parameter proses sebagai berikut:

Tabel 4.7. Kondisi Hipotesa Nol untuk setiap parameter proses

Faktor / Parameter Proses	Hipotesa Nol
A	Tolak
B	Gagal Ditolak
C	Tolak

Berdasarkan uji hipotesa F pada tabel 4.7 di atas, dapat diketahui bahwa yang mempengaruhi multirespon secara signifikan adalah parameter *Nozzle Temperature* (A) dan *Cooling Time* (C). Sedangkan parameter *Holding time* (B) tidak mempengaruhi multirespon secara signifikan. Karena *Holding time* tidak mempengaruhi multirespon secara signifikan, dilakukan Pooling Up untuk mengestimasi variansi error pada analisa variansi sehingga dapat menghasilkan estimasi yang lebih baik karena strategi ini akan mengakumulasi beberapa variansi error dari beberapa faktor yang kurang berarti (Nasrullah, 2009). Didapatkan tabel 4.9 yang berisi analisa variansi yang baru setelah dilakukan pooling up sebagai berikut:

Tabel 4.8. Analisa variansi dan persen kontribusi faktor pada rata-rata FRG setelah pooled up

Parameter	D F	SS	MS	F	p- valu e	% Kontribusi
Nozzle Temp.	2	0,046724	0,023362	30,82	0,031	24,529
Hold Time	Pooled Up					
Cool Time	2	0,113272	0,056636	87,02	0,013	60,639
Error	4	0,0243	0,01215			14,832
Total	8	0,184297				

Pada tabel dapat diketahui bahwa persentase error setelah dipooled up $\leq 15\%$, maka tidak ada faktor/ parameter yang berpengaruh terabaikan.

4.8 Interval Kepercayaan

Sebelum menghitung interval kepercayaan, dilakukan perhitungan nilai prediksi kombinasi maksimal yang signifikan terlebih dahulu. Kombinasi yang signifikan adalah faktor A level 2 dan faktor C level 3. Nilai pencapaian maksimal rata-rata nilai FRG dari eksperimen dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

Untuk Parameter/ faktor *Nozzle Temperature* (A) pada level 2:

$$\bar{v}_{A2} = \frac{0,638 + 0,785 + 0,602}{3}$$

$$\bar{v}_{A2} = 0,675$$

Untuk Parameter/ faktor *Cooling Time* (C) pada level 3:

$$\bar{v}_{C3} = \frac{0,723 + 0,785 + 0,666}{3}$$

$$\bar{v}_{C3} = 0,725$$

Untuk rata-rata total FRG:

$$\begin{aligned} T_{Rata-rata\ FRG} &= \frac{0,378 + 0,411 + 0,723 + 0,638 + 0,785 + 0,602 + 0,666 + 0,379 + 0,610}{9} \\ T_{Rata-rata\ FRG} &= 0,577 \end{aligned}$$

Untuk menghitung prediksi kondisi optimal rata-rata FRG:

$$\mu_{prediksi} = \bar{v}_{A2} + \bar{v}_{C3} - T_{Rata-rata\ FRG}$$

$$\mu_{prediksi} = 0,675 + 0,725 - 0,577$$

$$\mu_{prediksi} = 0,823$$

Untuk menghitung interval kepercayaan menggunakan persamaan 2.33 sebagai berikut:

$$n_{eff} = \text{Banyaknya pengamatan efektif}$$

=

$$\frac{\text{Jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan faktor} - \text{faktor untuk menduga rata-rata}}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{9 \times 2}{1+6} \\ &= 2,57 \end{aligned}$$

$$CI_1 = \sqrt{\frac{F_{0,05;3;4} \cdot MS_e}{n_{eff}}}$$

$$CI_1 = \sqrt{\frac{6,94 \cdot 0,01215}{2,57}}$$

$$CI_1 = 0,181$$

Sehingga:

$$\mu_{prediksi} - CI_1 \leq \mu_{yang\ diprediksi} \leq \mu_{prediksi} + CI_1$$

$$0,823 - 0,181 \leq \mu_{yang\ diprediksi} \leq 0,823 + 0,181$$

$$0,642 \leq \mu_{yang\ diprediksi} \leq 1,004$$

Hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa apabila menggunakan kombinasi maksimal maka rata-rata FRG yang didapatkan bernilai antara 0,642 sampai dengan 1,004.

4.9 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi digunakan untuk mengetahui apakah hasil dari metode Tagucbi dapat dikatakan valid atau tidak. Untuk faktor dan level yang optimal berdasarkan plot main effect untuk rata-rata dan rasio S/N.dapat dilihat pada tabel 4.5. Eksperimen konfirmasi dilakukan replikasi sebanyak 5 kali dan ditunjukkan pada tabel 4.9. Berdasarkan nilai-nilai respon yang didapat dari eksperimen konfirmasi dilakukan perhitungan rasio S/N untuk setiap parameter pada kombinasi eksperimen konfirmasi yang ditunjukkan pada tabel 4.10 sebagai berikut:

Tabel 4.9. Hasil konfirmasi eksperimen

Setting Faktor	Kekuatan Tarik (MPa)	Kekuatan Impact (Joule)
Konfirmasi eksperimen	9,2618	0,2586
	9,3980	0,3015
	9,1256	0,3015

	9,2618	0,2586
	9,1256	0,3015
Rata-rata	9,2346	0,2843

Tabel 4.10. Nilai rasio S/N pada kondisi eksperimen konfirmasi

	Rasio S/N		FRG
	Kekuatan Tarik	Kekuatan Impact	
eksperimen konfirmasi	1,93089	-1,08996	0,814

Berdasarkan tabel 4.10 didapatkan nilai rata-rata FRG pada konfirmasi eksperimen sebesar 0,814. Karena nilai tersebut berada diantara nilai yang diprediksi, yaitu diantara nilai 0,642 dan 1,004, maka nilai FRG tersebut valid dan menyatakan bahwa metode Taguchi berhasil meningkatkan kekuatan tarik dan impact secara serentak.

4.10 Pengaruh parameter terhadap multirespon secara teknik

4.10.1 *Nozzle Temperature*

Gambar 4.7 menjelaskan bahwa nilai FRG mengalami kenaikan sebanding dengan temperatur, tetapi setelah melewati temperatur 225⁰C nilai FRG menurun sehingga nilai tertinggi FRG berada pada level 2 yaitu 225⁰C. Hal ini dapat terjadi karena setiap plastik memiliki temperatur leleh yang berbeda-beda dan apabila temperatur yang disetting oleh mesin terlalu tinggi, lelehan plastik menyebabkan ikatan molekul-molekul menjadi lebih renggang sehingga menurunkan kekuatan tarik dan

meningkatkan impact plastik tersebut. Tetapi apabila temperatur yang disetting oleh mesin terlalu rendah juga dapat menyebabkan ikatan molekul-molekul menjadi terlalu erat dan kaku sehingga dapat meningkatkan kekuatan tarik tetapi menurunkan kekuatan impact.

4.10.2 *Holding time*

Gambar 4.8 menjelaskan bahwa nilai FRG mengalami kenaikan sebanding dengan *holding time*. Dari 3 level parameter *holding time* yang meningkatkan nilai FRG secara maksimal adalah level 3 yaitu 15 sekon. Meskipun faktor *holding time* tidak berpengaruh secara signifikan saat pengujian distribusi F, tetapi masih memiliki pengaruh terhadap spesimen uji tarik dan *impact* karena peran *holding time* yang membekukan spesimen plastik sehingga dapat mempengaruhi kepadatan spesimen dan apabila semakin padat, kemungkinan terjadinya porositas (*void*) akan menurun dan meningkatkan kekuatan tarik dan impact.

4.10.3 *Cooling Time*

Gambar 4.9 menjelaskan bahwa nilai FRG mengalami kenaikan sebanding dengan *Cooling Time*. Dari 3 level parameter *Cooling Time* yang meningkatkan nilai FRG secara maksimal adalah level 3 yaitu 20 sekon. *Cooling Time* mempengaruhi derajat kristalinitas dan tegangan internal. Apabila *Cooling Time* terlalu lama, maka derajat kristalinitas akan meningkat tetapi tegangan internal juga akan meningkat. Tegangan internal yang meningkat dapat meningkatkan kekuatan tarik tetapi membuat spesimen menjadi lebih rapuh dan memperlemah kekuatan impact spesimen tersebut.

4.11 Persentase Peningkatan Gabungan Kekuatan Tarik dan Impact untuk Setiap kombinasi eksperimen

Untuk mengetahui seberapa besar peningkatan kekuatan tarik dan impact yang terjadi setelah dilakukannya eksperimen dengan metode Taguchi dan logika Fuzzy dilakukan perbandingan nilai FRG hasil eksperimen konfirmasi dengan hasil setiap kombinasi eksperimen. Sebagai contoh, berikut ditampilkan nilai persentase peningkatan kekuatan tarik dan impact secara serentak dengan persamaan sebagai berikut:

$$\% \text{ peningkatan} = \frac{FRG_{HK} - FRG_{Kn}}{FRG_{Kn}} \times 100\%$$

Dengan: $FRG_{HK} = 0,814$

FRG_{Kn} = Nilai FRG kombinasi ke-n

Dari persamaan di atas didapatkan persentase peningkatan untuk kombinasi no.1 sebagai berikut:

$$\% \text{ peningkatan} = \frac{0,814 - 0,378}{0,378} \times 100\% = 115,344 \%$$

Dengan cara yang sama didapatkan peningkatan di setiap kombinasi eksperimen yang diperlihatkan pada tabel 4.11. sebagai berikut:

Tabel 4.11. Persentase peningkatan untuk setiap kombinasi eksperimen

No. Kombinasi	Nilai FRG Kombinasi	% Peningkatan
1	0,378	115,344
2	0,411	98,054
3	0,723	12,586
4	0,638	27,586
5	0,785	3,694
6	0,602	35,216
7	0,666	22,222
8	0,379	114,776
9	0,61	33,443

Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui bahwa persentase peningkatan terbesar adalah 115,344 % pada kombinasi no.1, sedangkan peningkatan terkecil adalah 3,694 % pada kombinasi no.5.

4.12 Kombinasi Tengah Sebagai Perbandingan Nilai FRG

Nilai FRG pada tabel 5.1 tidak dapat dirata-rata dikarenakan setiap kombinasi menggunakan level parameter yang berbeda-beda dan dari kedua perbandingan tersebut tidak dapat mewakili kenaikan yang terjadi karena kedua nilai tersebut merupakan batas atas dan bawah dari peningkatan yang terjadi. Maka dari itu yang dapat menentukan berapa peningkatan yang sesungguhnya dari hasil metode Taguchi dan logika Fuzzy ini adalah dengan membandingkan nilai FRG hasil eksperimen konfirmasi

dengan nilai FRG pada kombinasi level tengah (Kurniawan; 2013; 8).

Kombinasi level tengah adalah kombinasi dimana setiap level parameternya berada pada level tengah, atau dalam penelitian ini adalah level 2. Untuk temperatur nozzle bernilai 225⁰C, holding time bernilai 10 detik dan cooling time bernilai 15 detik. Berikut adalah tabel 4.12 yang menunjukkan data hasil pengujian tarik dan impact yang direplikasi sebanyak lima kali dan tabel 4.13 yang menunjukkan nilai rasio S/N dan hasil FRG pada kombinasi tengah:

Tabel 4.12. Data hasil uji tarik dan impact pada Kombinasi tengah

Setting Faktor/ Kombinasi			Kekuatan Tarik (MPa)	Kekuatan Impact (Joule)
Faktor	Level	Nilai		
Nozzle Temp.	2	225 ⁰ C	8,989	0,216
Holding Time	2	10 detik	8,853	0,259
Cooling Time	2	15 detik	8,853	0,302
			8,717	0,216
			8,989	0,259
Rata-rata			8,880	0,250

Tabel 4.13. Rasio S/N pada kondisi kombinasi tengah

	Rasio S/N		FRG
	Kekuatan Tarik	Kekuatan Impact	
Kombinasi tengah	1,897	-1,196	0,58

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa apabila nilai FRG pada kombinasi tengah dibandingkan dengan nilai

FRG hasil eksperimen konfirmasi akan didapatkan peningkatan sebesar:

$$\frac{0,814 - 0,58}{0,58} \times 100\% = 40,34 \%$$

Dari perhitungan di atas menunjukkan besarnya perbandingan nilai FRG eksperimen konfirmasi dengan kombinasi tengah menghasilkan nilai 40,34 %. Dari nilai tersebut membuktikan bahwa penelitian menggunakan metode Taguchi dan logika Fuzzy dapat meningkatkan gabungan kekuatan tarik dan impact sebesar 40,34%.

4.13 Evaluasi Hasil Eksperimen

Pada penelitian ini terdapat kelemahan yaitu perbandingan hasil eksperimen konfirmasi dengan nilai hasil kombinasi no. 5 yang kecil yaitu 3,69 %. Hal ini dapat terjadi dikarenakan selisih setiap level parameter yang kecil. Untuk temperatur nozzle sebesar 5 °C, untuk waktu tahan dan pendinginan sebesar 5 detik. Berdasarkan gambar 4.6 dan 4.7 dapat diketahui apabila selisih nilai setiap level diperbesar dapat meningkatkan nilai minimum persentase kenaikan gabungan kekuatan tarik dan impact.

Tetapi apabila dibandingkan dengan nilai FRG kombinasi no.1 yaitu 0,378 atau yang terendah akan didapatkan persentase peningkatan tertinggi sebesar 115,344 %. Peningkatan dapat menunjukkan bahwa penggunaan metode Taguchi dan logika Fuzzy pada eksperimen ini berhasil meningkatkan gabungan kekuatan tarik dan impact.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil eksperimen dan analisa serta hasil eksperimen konfirmasi yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh setiap parameter proses dalam meningkatkan kekuatan tarik dan impact secara serentak adalah sebagai berikut:
 - Nozzle temperature memiliki persen kontribusi sebesar 24,529 % dan berpengaruh pada kristalinitas plastik yang apabila meningkat dapat menyebabkan molekul-molekul menjadi lebih rapat sehingga membutuhkan gaya yang lebih besar untuk memisahkannya, sehingga dapat mempengaruhi kekuatan tarik dan kekuatan impact.
 - *Holding time* memiliki persen kontribusi sebesar 11,540 % dan mempengaruhi kepadatan spesimen sehingga apabila semakin padat, kemungkinan terjadinya porositas (void) akan menurun. namun parameter holding time tidak berpengaruh secara signifikan terhadap multirespon dikarenakan hasil uji distribusi F yang menunjukkan nilai F_{hitung} parameter *Holding time* yang lebih rendah dari nilai F_{tabel} pada tabel distribusi F.
 - Cooling time memiliki persen kontribusi sebesar 60,639 % dan mempengaruhi derajat kristalinitas dan tegangan internal pada produk

plastik. Apabila waktu pendinginan terlalu lama, maka derajat kristalinitas akan meningkat tetapi tegangan internal juga akan meningkat. Tegangan internal yang meningkat dapat membuat spesimen menjadi rapuh dan memperlemah kekuatan spesimen tersebut.

2. Setting parameter kombinasi dari parameter proses yang dapat meningkatkan kekuatan tarik dan impact secara serentak adalah sebagai berikut:
 - Nozzle Temperature 2250C
 - Holding time sebesar 15 detik
 - Cooling Time sebesar 20 detik
3. Peningkatan gabungan kekuatan tarik dan impact yang terjadi pada penelitian ini adalah 40,34 % hasil dari perbandingan nilai FRG eksperimen konfirmasi dengan kombinasi tengah.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil eksperimen dan analisa serta hasil eksperimen konfirmasi yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Untuk penelitian berikutnya disarankan meningkatkan selisih nilai pada level parameter sehingga dapat meningkatkan persentase kenaikan gabungan kekuatan tarik dan impact.
2. Metode optimasi yang membantu metode Taguchi dalam menyelesaikan penelitian adalah logika Fuzzy. Disarankan pada penelitian berikutnya menggunakan metode lain sebagai pembanding penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Sudirman dkk, Oktober 2004, "Analisis Sifat Kekuatan Tarik, Derajat Kristalinitas, Dan Strukturmikro Komposit Polimer Polipropilena-Pasir", Vol.6. No.1 , hal 1-6.
2. Sigid P, Resha, Juli 2013, "Cacat Penyusutan (Shrinkage) dan Kekuatan Tarik Campuran Polypropylene dan Polyethylene Akibat Variasi Temperatur dan Waktu Tahan pada Injection Moulding".
3. Saba'at Darajat, Ibnu, 2008, "Analisis Pengaruh Waktu Pemanasan Awal Dan Massa Sampel Terhadap Hasil Uji Indeks Alir Lelehan Polipropilena".
4. Zaldy dkk, Oktober 2013, "Optimasi Laju Pengerjaan Material Dan Kekasaran Permukaan Proses Edm Sinking Baja Aisi 4140 Dengan Menggunakan Metode Taguchi-Fuzzy".
5. Chawla, Krishan K., March 2011, "Composite Materials : Science and Engineering", Second Edition.
6. Sri Kusumadewi, "Pengantar Kecerdasan Buatan- Logika Fuzzy", Bab 7.
7. Sumaryono, Juli 2012, "Perilaku Pengujian Tarik pada Polimer Polistiren dan Polipropilen", Vol.1 No.1.
8. <http://plc.cwru.edu/tutorial/enhanced/files/polymers/therm/therm.htm>
9. ASTM Standard D-638, 2008. Standard test method for tensile properties of plastics [Internet]. West Conshohocken (PA): ASTM International. Available from: □ <http://www.astm.org/>.
10. ASTM Standard D-6110, 2008. Standard test method for determining the Charpy impact resistance of notched specimens of plastics [Internet]. West Conshohocken (PA): ASTM International. Available from: <http://www.astm.org/>.

11. C.W. Hong, Using the Taguchi Method for effective marketsegmentation, *Expert Systems with Applications*, 39, 5451-5459 (2012).
12. C. T. Su, C. J. Yeh, Optimization of the Cu wirebonding process for IC assembly using Taguchi Methods,*Microelectronics Reliability*, **51**, 53-59 (2011).
13. S. H. Hsiang, Y. W. Lin, Optimization of the extrusionprocess for magnesium alloy sheets using the fuzzy basedTaguchi Method, *The Arabian Journal for Science andEngineering*, 34, 175-185. (2009).
14. Kurniawan (2013), “Optimasi Laju Pengerjaan Material dan Kekerasan Permukaan Proses EDM Sinking Baja AISI 4140 dengan Menggunakan Metode Taguchi-Fuzzy”, Tesis, Hal 8.

BIODATA PENULIS



Dhian Prihananto, dilahirkan di Surabaya pada tanggal 30 Mei 1992. Penulis adalah putra kedua dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Agus Sunaryo dan Ibu Agus Sri utami. Pendidikan dasar ditempuh di SD Negeri Kebraon 4 Surabaya, lulus pada tahun 2004. Pendidikan menengah pertama ditempuh di SMP Negeri 12 Surabaya, lulus pada tahun 2007. Pendidikan menengah atas ditempuh di SMA Negeri 2 Surabaya, lulus pada tahun 2010. Pada tahun yang sama, penulis melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Di Jurusan Teknik Mesin ini, penulis mengambil Bidang Studi Teknik Manufaktur di Laboratorium Perancangan Pengembangan Produk.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Spesimen uji tarik (ASTM D638)	3
Gambar 1.2 Spesimen uji beban kejut (ASTM D256)	3
Gambar 2.1. Sistem injection molding	7
Gambar 2.2 Spesifikasi mesin HAITIAN MA type 900/260 e	9
Gambar 2.3. Kurva tegangan-regangan untuk polimer a) getas (brittle); b) plastis; dan c) elastomer (highly elastic)	15
Gambar 2.4. Grafik deformasi tegangan-rengangan	15
Gambar 2.5. Diagram tegangan-regangan uji tarik bahan ulet.....	17
Gambar 2.6. Mesin Uji Impact.....	19
Gambar 2.7 Jenis takikan pada spesimen uji impact	21
Gambar 2.8. Pola patahan pada penampang spesimen uji impact..	21
Gambar 2.9. Metode pengujian charpy dan izod.....	21
Gambar 2.10. Temperatur Transisi Gelas.....	23
Gambar 2.11. Representasi Linear Naik.....	39
Gambar 2.12. Representasi Linear Turun.....	41
Gambar 2.13. Representasi Kurva Segitiga.....	41
Gambar 2.14. Representasi Kurva Trapesium.....	41
Gambar 2.15. Representasi Kurva Bahu	42
Gambar 2.16. Proses Defuzzifikasi	45
Gambar 2.17. Struktur Proses Logika Fuzzy.....	52
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	53
Gambar 3.2 Diagram alir penelitian (lanjutan).....	67
Gambar 4.1. Fungsi keanggotaan untuk kekuatan tarik	68
Gambar 4.2. Fungsi keanggotaan untuk kekuatan impact.....	68
Gambar 4.3. Fungsi keanggotaan multirespon FRG	70
Gambar 4.5. Proses defuzzifikasi menggunakan software Matlab..	71
Gambar 4.6. Grafik rasio S/N untuk setiap level parameter.....	72
Gambar 4.7. Grafik mean untuk setiap level parameter	72

PEMILIHAN PARAMETER UNTUK MENINGKATKAN KEKUATAN SPESIMEN TARIK DAN IMPACT PADA PROSES INJEKSI PLASTIK DENGAN METODE TAGUCHI

Dhian Prihananto, Arif Wahjudi, ST., MT., Ph.D.

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: arif_wahjudi@me.its.ac.id

Abstrak— Kebutuhan dan ketergantungan manusia akan plastik dewasa ini sangat besar dan bahan ini menjadi tidak tergantikan oleh material lain. Hal ini dikarenakan produk plastik mudah didapat, mudah dibawa kemana-mana dan mudah dibentuk sesuai keinginan. Salah satu proses produksi yang menggunakan bahan baku plastik tersebut adalah injeksi plastik (*injection Molding*). Untuk mencari alternatif material plastik yang dapat menghasilkan produk yang memiliki kualitas yang optimal berdasarkan kekuatan tarik dan impact sebagai batasannya, pada tugas akhir ini dilakukan optimasi kekuatan tarik dan impact pada proses injeksi di mesin *injection molding* HAITIAN MA 900/260e dengan mengubah parameter-parameter proses yang ada pada mesin injeksi plastik tersebut. Penyelesaian tugas akhir ini memanfaatkan metode Taguchi dan logika Fuzzy. Parameter proses injeksi plastik yang dipilih adalah waktu tahan, waktu pendinginan dan temperatur. Setiap parameter memiliki tiga level, yaitu untuk temperatur 220°C, 225°C, 230°C, untuk waktu tahan 5, 10 dan 15 detik, dan untuk waktu pendinginan 10, 15 dan 20 detik. Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah kombinasi parameter yang dapat memaksimalkan kekuatan spesimen tarik dan impact secara serentak adalah temperatur nozzle sebesar 225°C, waktu tahan sebesar 15 detik dan waktu pendinginan sebesar 20 detik. Waktu tahan tidak berpengaruh secara signifikan pada multirespon dikarenakan nilai F_{hitung} -nya lebih kecil dari nilai F_{tabel} pada tabel distribusi F.

Kata Kunci— plastik, parameter proses injeksi, optimasi, Taguchi, logika Fuzzy, Tegangan Tarik dan Impact.

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan dan ketergantungan manusia akan plastik dewasa ini sangat besar dan bahan ini menjadi tidak tergantikan oleh material lain. Pemakaian plastik secara besar-besaran dimulai pada tahun 1960, pada saat itu kebutuhan plastik dunia mencapai sembilan juta ton per tahun, pada tahun 2000 kebutuhan dunia akan plastik mencapai 170 juta ton dan volume produksi *polyethylene* (biji plastik) per tahun mencapai 320.000 ton, atau 40% (terbesar di Indonesia) dari produksi biji besi nasional pada tahun 2014 [4]. Hal ini dikarenakan produk plastik mudah didapat, mudah dibawa kemana-mana dan mudah dibentuk sesuai keinginan.

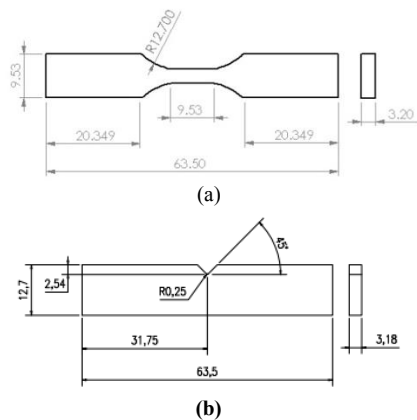
Seiring berjalannya waktu, kualitas plastik dari setiap perusahaan pun dipertanyakan. Apakah proses produksi plastik tersebut telah menghasilkan plastik dengan kualitas yang baik atau tidak. Bila ditinjau dari material plastik yang digunakan, sudah pasti material plastik yang memiliki kualitas yang baik akan menghasilkan produk yang baik pula. Tetapi material plastik yang berkualitas tinggi memiliki harga yang tinggi juga. Apabila yang dirubah adalah setting parameter

dari proses produksi maka plastik dengan kualitas rendah mampu bersaing dengan plastik yang berkualitas tinggi. Salah satu proses produksi yang menggunakan bahan baku plastik tersebut adalah injeksi plastik (*injection Molding*).

Proses injeksi plastik memiliki banyak parameter yang dapat diubah-ubah nilainya untuk memperoleh produk dengan berbagai respon yang diinginkan. Penentuan kombinasi parameter pada proses injeksi plastik untuk mencapai peningkatan nilai secara serentak dari beberapa respon tersebut cukup sulit dilakukan karena membutuhkan banyak percobaan sehingga dapat memakan biaya yang cukup besar. Metode Taguchi adalah salah satu metode yang efektif untuk mengendalikan kualitas produk secara *off-line*, yaitu usaha pengendalian atau perbaikan kualitas yang dimulai dari perancangan hingga pemrosesan. Metode Taguchi hanya bisa mengoptimasi proses pada satu respon. Namun, dengan adanya metode lanjutan seperti Logika Fuzzy atau *Grey Relational Analysis* membuat metode Taguchi dapat digunakan untuk melakukan optimasi terhadap beberapa respon secara serentak. Metode ini sangat efektif untuk mengadakan perbaikan kualitas, pengurangan biaya pengembangan produk.

Salah satu penelitian terdahulu yang mengangkat masalah tentang pengaturan parameter atau faktor pada proses injeksi plastik telah dilakukan. Resha Sigid P (2013) melakukan penelitian tentang optimasi respon cacat penyusutan (*shrinkage*) dan kekuatan tarik pada spesimen injeksi plastik. Faktor yang divariasikan adalah Holding time dengan 3 level yaitu 4, 5 dan 6 detik dan temperatur dengan 5 level yaitu 1650C, 1750C, 1850C, 1950C, dan 2050C. Material plastik yang digunakan adalah campuran dari Polyethylene dan Polypropylene. Dari hasil penelitian diketahui bahwa pada penggunaan temperatur dari 1650C–1850C, kekuatan tarik yang dihasilkan semakin meningkat. Setelah temperatur 1850C cenderung menurun [1].

Mesin *injection molding* HAITIAN MA 900/260e yang dimiliki oleh Institut Teknologi Sepuluh Nopember Fakultas Teknik Industri, Jurusan Teknik Mesin yang telah mendapatkan *mold base* hasil rancangan Saudari Warda (2014) [5] untuk spesimen yang disesuaikan dengan standar dimensi spesimen uji tarik yaitu standar ASTM D638 [2], seperti pada Gambar 1.1 dan untuk dimensi spesimen uji beban kejut sesuai dengan standar ASTM D6110 [3], seperti pada Gambar 1.2 sebagai berikut:

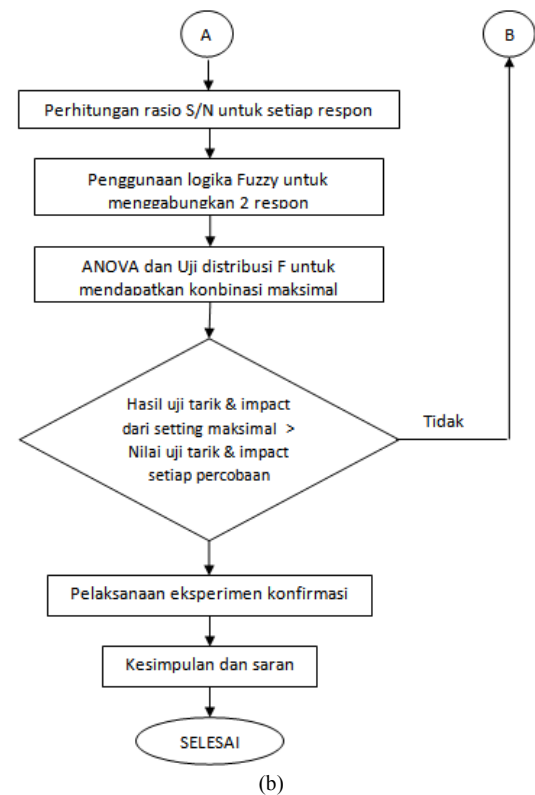
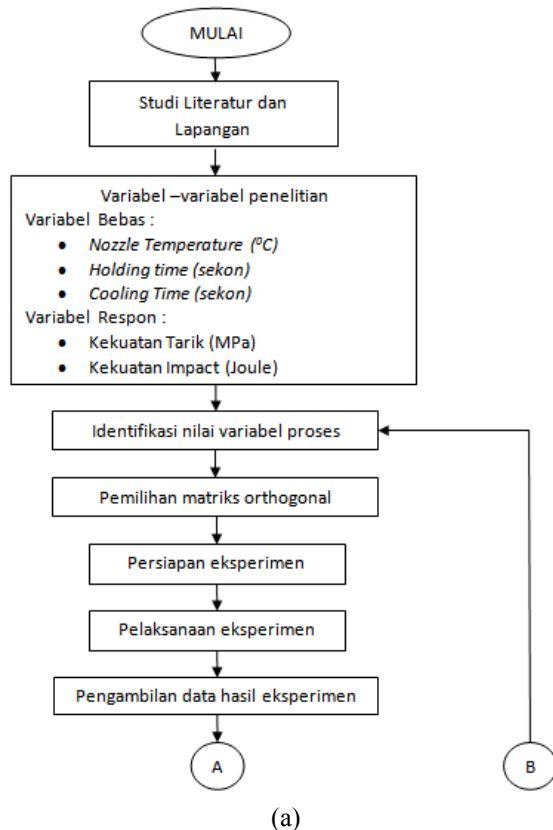


Gambar 1. (a) Spesimen uji tarik (ASTM D638) dan (b) Spesimen uji beban kejut (ASTM D6110)

Mesin injeksi tersebut belum digunakan untuk penelitian lebih lanjut. Sehingga untuk mencari alternatif material plastik yang dapat menghasilkan produk yang memiliki kualitas yang optimal berdasarkan kekuatan tarik dan *impact*, diambil topik tugas akhir yaitu pemilihan parameter untuk meningkatkan kekuatan spesimen tarik dan *impact* pada proses injeksi plastik pada mesin *injection molding* HAITIAN MA 900/260e dengan metode Taguchi dan Logika Fuzzy.

II. URAIAN PENELITIAN

Berikut adalah gambar flowchart penelitian peningkatan kekuatan spesimen tarik dan *impact* pada proses injeksi plastik dengan metode taguchi:



Gambar 2. Diagram alir penelitian (a) awal dan (b) lanjutan

1. Peralatan Penelitian

- Benda Kerja atau material yang digunakan adalah material plastik polipropilene.
- Mesin yang digunakan adalah Mesin injeksi Plastik HAITIAN MA 900/260 e dengan spesifikasi yang tertera pada gambar 3 berikut:

		MA900 II /260e		
INJECTION UNIT		A	B	C
Screw diameter	mm	32	36	40
Screw L / D ratio	L/D	22.5	20	18
Shot size (theoretical)	cm ³	121	153	188
Injection weight (PS)	g	110	139	171
Injection rate (PS)	g/s	77	98	121
Injection pressure	MPa	218	173	140
Plasticizing rate (PS)	g/s	10.1	13.3	16.1
Screw speed	rpm	0-230		
CLAMPING UNIT				
Clamp tonnage	kN	900		
Toggle stroke	mm	320		
Space between tie bars	mm	360x360		
Max. mold height	mm	380		
Min. mold height	mm	150		
Ejector stroke	mm	100		
Ejector force	kN	33		
OTHERS				
Max. pump pressure	MPa	16		
Pump motor power	kW	11		
Heater power	kW	6.3		
Machine dimension (l x w x h)	m	4,4x1,13x1,91		
Machine weight	t	3.5		
Hopper capacity	kg	25		
Oil tank capacity	l	190		

Gambar 3. Spesifikasi Mesin injeksi plastik

- Mesin Uji tarik Merk Frank 654 dengan kapasitas maksimal 200 kg.
- Mesin Uji impact mini dengan kemampuan menyalurkan energi sebesar 2.75 J.

2. Rancangan Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan tiga parameter atau faktor dengan masing-masing tiga level. Pengaturan parameter tersebut berada pada tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Nilai pada variabel bebas

Faktor/ Parameter Proses	Satuan	Level 1	Level 2	Level 3
A Nozzle Temperature	°C	220	225	230
B Holding time (waktu tahan)	Sekon	5	10	15
C Cooling Time (waktu pendinginan)	Sekon	10	15	20

Tabel 2. menunjukkan rancangan percobaan yang ditetapkan menggunakan Orthogonal Array sebagai berikut:

Tabel 2. Orthogonal Array yang digunakan

Experiment Number	Column		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

Langkah-langkah optimasi dengan metode Taguchi-Logika Fuzzy adalah sebagai berikut:

i. Menghitung Rasio S/N

Rasio S/N atau Rasio Signal to Noise digunakan untuk memilih faktor-faktor yang memiliki kontribusi pada pengurangan variasi suatu respon. Rasio S/N merupakan rancangan transformasi pengulangan data ke dalam suatu nilai yang merupakan ukuran variasi yang timbul. Ditinjau dari karakteristik kualitas, terdapat tiga jenis Rasio S/N, yaitu :

• Semakin kecil semakin baik (Smaller the Better)

Adalah karakteristik kualitas dengan batas nilai 0 dan non-negatif sehingga nilai yang semakin kecil atau mendekati nol adalah nilai yang diinginkan. Rasio S/N untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n} \right]$$

• Tertuju pada nilai tertentu (Nominal is the Best)

Adalah karakteristik kualitas dengan nilai target tidak nol dan terbatas sehingga nilai yang semakin mendekati target tersebut adalah nilai yang diinginkan. Rasio S/N untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \bar{y})^2}{n} \right]$$

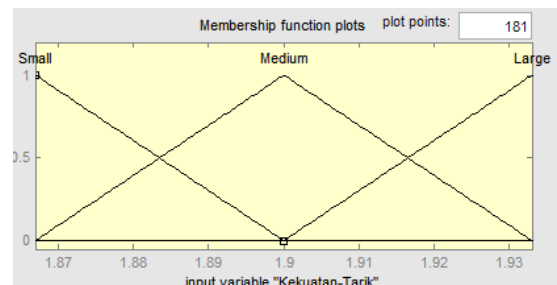
• Semakin besar semakin baik (Bigger the Better)

Adalah karakteristik kualitas dengan rentang nilai tak terbatas dan non-negatif sehingga nilai yang semakin besar adalah nilai yang diinginkan. Rasio S/N untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{1/y_i^2}{n} \right]$$

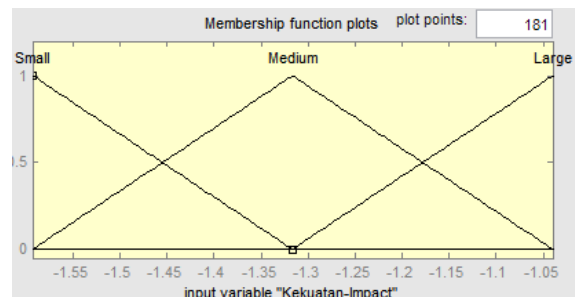
ii. Fuzzifikasi

Fuzzification merupakan proses pengubahan nilai awal, yaitu rasio S/N menjadi bilangan fuzzy dengan menggunakan fungsi keanggotaan (membership function) bentuk segitiga. Secara uniform fungsi keanggotaan didefinisikan menjadi 3 fuzzy subsets, yaitu *small* (S), *medium* (M) dan *large* (L). Fungsi keanggotaan berdasarkan bentuk kurva segitiga untuk rasio S/N respon kekuatan tarik ditunjukkan pada gambar 5 sebagai berikut:



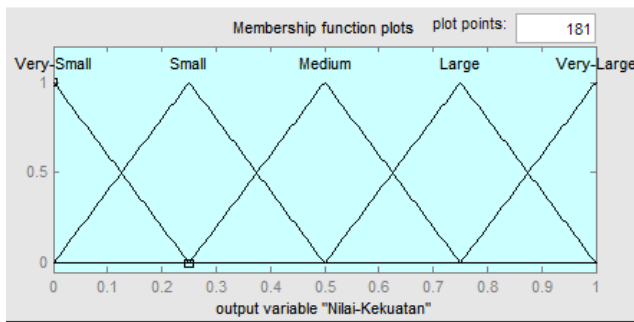
Gambar 5. Fungsi keanggotaan berdasarkan respon kekuatan tarik

Dan fungsi keanggotaan untuk respon kekuatan impact sebagai berikut:



gambar 6. Fungsi keanggotaan berdasarkan respon kekuatan impact

Parameter *output* dari sistem logika fuzzy pada penelitian ini adalah *fuzzy reasoning grade* (FRG) yang diubah ke dalam *linguistic fuzzy subsets*, yaitu *very small* (VS), *small* (S), *medium* (M), *large* (L) dan *very large* (VL). Fungsi keanggotaan untuk parameter *output* tersebut adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7 sebagai berikut:



Gambar 7. Fungsi keanggotaan output FRG

iii. Mengaplikasikan Fuzzy Rules

Setelah tahap *fuzzification*, langkah berikutnya mengaplikasikan *fuzzy rules* untuk mendapatkan nilai *fuzzy*. Pembuatan *fuzzy rules* yang berupa aturan *IF-THEN* (jika-maka) dilakukan dengan menggunakan rasio S/N dari respon-respon sebagai parameter input dan FRG. Penelitian ini menggunakan 3 *fuzzy subsets*, sehingga memerlukan 9 *fuzzy rules*. Sehingga *fuzzy rules* yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. If (Kek.Tarik is Small) and (Kek.Impact is Small) then (FRG is Very Small)
2. If (Kek.Tarik is Small) and (Kek.Impact is Medium) then (FRG is Small)
- ...
9. If (Kek.Tarik is Large) and (Kek.Impact is Large) then (FRG is Very Large).

Tabel 3. menunjukkan keseluruhan *fuzzy rules* yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 3. Fuzzy Rule

		Kekuatan Impact		
		Small	Medium	Large
Kekuatan Tarik	Small	VS	S	M
	Medium	S	M	L
	Large	M	L	VL

iv. Defuzzifikasi

Defuzzification merupakan proses yang digunakan untuk pengubahan nilai hasil *fuzzification* menjadi FRG dengan cara melakukan pemetaan himpunan *fuzzy* ke himpunan tegas (*crisp*). Metode yang paling sering digunakan pada proses *defuzzification* adalah metode *centroid*. Pada metode ini, *defuzzification* dilakukan dengan cara mentransformasikan *output fuzzy reasoning* $\square(z_i)$ menjadi *non-fuzzy value* (z^*) atau yang disebut FRG. Secara umum perumusannya dari Kusumadewi dan Purnomo (2010) adalah sebagai berikut:

$$z^* = \frac{\int_z^n z \mu(z) dz}{\int_z^n \mu(z) dz} \rightarrow \text{untuk semesta kontinu}$$

$$z^* = \frac{\sum_{j=1}^n z_j \mu(z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(z_j)} \rightarrow \text{untuk semesta diskret}$$

v. Menentukan kombinasi parameter untuk respon optimal

Secara umum semakin besar nilai FRG, semakin baik pula respon dari proses pada kombinasi parameter tersebut.

vi. Analisis variansi dan persen kontribusi

Analisa variansi adalah teknik yang digunakan untuk menganalisa data yang telah disusun dalam desain secara statistik. Analisa ini dilakukan dengan menguraikan seluruh variasi atau bagian-bagian yang diteliti. Pada tahap ini akan dilakukan pengklasifikasian hasil eksperimen secara statistik sesuai dengan sumber variasi sehingga dapat mengidentifikasi kontribusi faktor.

Persen kontribusi adalah porsi setiap faktor dan/atau interaksi faktor yang signifikan terhadap total variansi yang diamati. Persen kontribusi menunjukkan kekuatan relatif dari suatu faktor untuk mereduksi variasi dan merupakan fungsi dari jumlah kuadrat dari setiap faktor yang signifikan. Pada persen kontribusi akan dihitung persen kontribusi faktor dan error. Jika persen kontribusi error kurang dari lima belas persen, artinya tidak ada faktor yang berpengaruh terabaikan, tetapi jika sebaliknya akan mengindikasikan adanya faktor yang berpengaruh terabaikan sehingga error yang terjadi terlalu besar.

vii. Melakukan Eksperimen Konfirmasi

Percobaan konfirmasi merupakan percobaan yang dilakukan berdasarkan kombinasi parameter hasil optimasi. Tujuannya adalah untuk mencocokkan hasil prediksi dengan hasil respon secara aktual, dan sekaligus membandingkan hasil respon pada kondisi awal dengan hasil respon setelah dilakukan proses optimasi. Percobaan konfirmasi dinyatakan berhasil jika terjadi perbaikan pada hasil respon setelah dilakukan proses optimasi sesuai dengan karakteristik kualitas dari respon tersebut, dan hasil percobaan konfirmasi tidak jauh dari nilai yang diprediksi. Selain itu tujuan Eksperimen konfirmasi adalah [6]:

- a) Memverifikasi dugaan yang dibuat saat model, performansi, penentuan faktor, dan interaksi yang dibuatnya.
- b) Merancang parameter hasil analisis yang optimal dari hasil percobaan pada performansi yang diharapkan.

Langkah-langkah dari eksperimen konfirmasi adalah sebagai berikut:

- 1) Merancang kondisi optimal untuk faktor dan level yang signifikan.
- 2) Membandingkan rata-rata dan variansi hasil percobaan konfirmasi dengan rata-rata dan variansi yang diharapkan.

Eksperimen konfirmasi dinyatakan berhasil apabila:

- 1) Terjadi perbaikan dari hasil proses yang ada setelah eksperimen Taguchi dilakukan.
- 2) Hasil eksperimen konfirmasi mendekati nilai yang diprediksi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil percobaan pengujian tarik dan impact ditunjukkan pada tabel 4 sebagai berikut:

Tabel 4. Data hasil Percobaan

Setting Faktor / Kombinasi ke-	Kekuatan Tarik (MPa)			Kekuatan Impact (Joule)		
1	8,718	9,398	9,126	0,129	0,173	0,173
2	9,262	8,717	8,989	0,173	0,173	0,173
3	9,126	9,262	9,262	0,216	0,259	0,259
4	8,717	9,126	9,126	0,259	0,259	0,259
5	9,398	9,126	9,262	0,259	0,259	0,259
6	8,989	8,989	9,126	0,216	0,259	0,216
7	9,126	8,581	8,717	0,302	0,302	0,302
8	8,445	8,581	8,717	0,259	0,259	0,259
9	9,262	8,445	8,717	0,259	0,302	0,302

Data kekuatan tarik dan impact di atas dilakukan replikasi sebanyak tiga kali untuk menghindari pengaruh dari faktor noise (faktor pengganggu yang tidak dapat dikontrol)

Nilai rasio S/N yang digunakan untuk setiap respon adalah 'larger the better' sehingga diperoleh nilai rasio S/N untuk masing-masing respon yang ditunjukkan pada Tabel 5 sebagai berikut:

Tabel 5. Data Rasio S/N

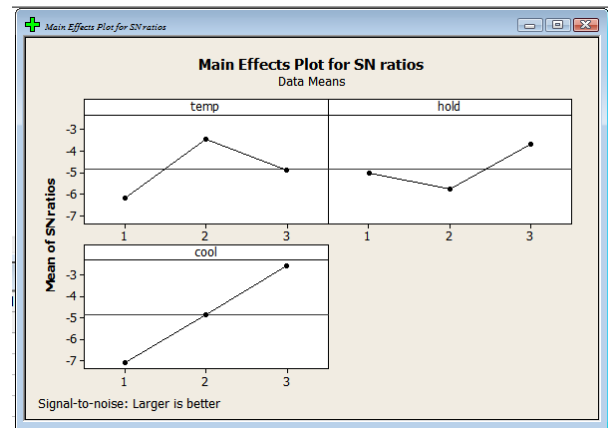
Setting Faktor / Kombinasi Ke-	Faktor			Rasio S/N	
	A	B	C	Kekuatan Tarik	Kekuatan Impact
1	1	1	1	1,917	-1,593
2	1	2	2	1,908	-1,524
3	1	3	3	1,929	-1,220
4	2	1	2	1,908	-1,173
5	2	2	3	1,933	-1,173
6	2	3	1	1,912	-1,272
7	3	1	3	1,890	-1,040
8	3	2	1	1,867	-1,173
9	3	3	2	1,890	-1,080

Hasil proses *defuzzification* yang berupa nilai FRG yang mewakili respon kekuatan tarik dan impact secara serentak ditunjukkan pada Tabel 6 sebagai berikut:

Tabel 6. Nilai FRG setiap respon

Kombinasi Faktor ke-	Rasio S/N		Fuzzy Reasoning
	Kekuatan Tarik	Kekuatan Impact	Grade (FRG)
1	1,917	-1,593	0,378
2	1,908	-1,524	0,411
3	1,929	-1,220	0,723
4	1,908	-1,173	0,638
5	1,933	-1,173	0,785
6	1,912	-1,272	0,602
7	1,890	-1,040	0,666
8	1,867	-1,173	0,379
9	1,890	-1,080	0,610

Plot untuk nilai S/N rasio pada masing-masing level dari parameter proses, yaitu *Nozzle Temperature* (A), *Holding Time* (B), dan *Cooling Time* (C) ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Plat nilai rasio S/N setiap parameter

Penelitian ini menghasilkan kombinasi parameter proses untuk respon optimal yang ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Kombinasi parameter untuk multirespon optimal

Parameter Proses	Level Faktor	Nilai Level
<i>Nozzle Temperature</i> (A)	2	225 °C
<i>Holding time</i> (B)	3	15 sekon
<i>Cooling Time</i> (C)	3	20 sekon

Hasil ANOVA ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Anova dan Persen kontribusi

Parameter	DF	SS	MS	F	p-value	% Kontribusi
Nozzle Temp.	2	0,046724	0,023362	30,82	0,031	24,529
Hold Time	2	0,022784	0,011392	15,03	0,062	11,540
Cool Time	2	0,113272	0,056636	74,71	0,013	60,639
Error	2	0,001516	0,000758			3,292
Total	8	0,184297				

Hasil ANOVA pada Tabel 8 menunjukkan bahwa parameter-parameter proses *Nozzle Temp.* (A), *Holding Time* (B), dan *Cooling Time* (C), mempengaruhi FRG. Parameter-parameter proses yang memiliki kontribusi terbesar terhadap total variansi dari FRG adalah *Cooling Time*, yaitu sebesar 60,639 %, diikuti berturut-turut oleh *Nozzle Temp.* yang memiliki persen kontribusi sebesar 24,529 % dan *Holding Time* memiliki persen kontribusi sebesar 11,54 %.

Eksperimen Konfirmasi

Tabel 9. menunjukkan perbandingan nilai-nilai FRG dari respon-respon Kekuatan tarik dan Impact pada kombinasi level tengah dan kombinasi optimum.

Tabel 9. Tabel perbandingan nilai FRG pada kombinasi tengah dan eksperimen konfirmasi

Setting parameter	FRG	Rata-rata	
		Kekuatan Tarik (MPa)	Kekuatan Impact (Joule)
Kombinasi level tengah	0,58	8,88	0,25
Eksperimen konfirmasi	0,814	9,235	0,2843
Peningkatan	40,38 %	3,99 %	13,72 %

Seperti ditunjukkan pada Tabel 9, Rata-rata Kekuatan tarik meningkat dari 8,88 MPa menjadi 9,233 MPa dan Kekuatan Impact meningkat dari 0,25 Joule menjadi 0,2843 Joule. Nilai FRG pada kombinasi tengah adalah sebesar 0,58 dan FRG pada eksperimen konfirmasi adalah sebesar 0,814, sehingga terjadi peningkatan sebesar 40,38 %.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil eksperimen dan analisa serta hasil eksperimen konfirmasi yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh setiap parameter proses dalam meningkatkan kekuatan tarik dan impact secara serentak adalah sebagai berikut:
 - Nozzle temperature memiliki persen kontribusi sebesar 24,529 % dan berpengaruh pada kristalinitas plastik yang apabila meningkat dapat menyebabkan molekul-molekul menjadi lebih rapat sehingga membutuhkan gaya yang lebih besar untuk memisahkannya, sehingga dapat mempengaruhi kekuatan tarik dan kekuatan impact.
 - *Holding time* memiliki persen kontribusi sebesar 11,540 % dan mempengaruhi kepadatan spesimen sehingga apabila semakin padat, kemungkinan terjadinya porositas (void) akan menurun. namun parameter holding time tidak berpengaruh secara signifikan terhadap multirespon dikarenakan hasil uji distribusi F yang menunjukkan nilai F_{hitung} parameter *Holding time* yang lebih rendah dari nilai F_{tabel} pada tabel distribusi F.
 - Cooling time memiliki persen kontribusi sebesar 60,639 % dan mempengaruhi derajat kristalinitas dan tegangan internal pada produk plastik. Apabila waktu pendinginan terlalu lama, maka derajat kristalinitas akan meningkat tetapi tegangan internal juga akan meningkat. Tegangan internal yang meningkat dapat membuat spesimen menjadi rapuh dan memperlemah kekuatan spesimen tersebut.
2. Setting parameter kombinasi dari parameter proses yang dapat meningkatkan kekuatan tarik dan impact secara serentak adalah sebagai berikut:
 - *Nozzle Temperature* 225°C
 - *Holding time* sebesar 15 detik
 - *Cooling Time* sebesar 20 detik

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Sigid P, Resha, Juli 2013, "Cacat Penyusutan (Shrinkage) dan Kekuatan Tarik Campuran Polypropylene dan Polyethylene Akibat Variasi Temperatur dan Waktu Tahan pada Injection Moulding".
- [2]. ASTM Standard D-638, 2008. Standard test method for tensile properties of plastics [Internet]. West Conshohocken (PA): ASTM International. Available from: <http://www.astm.org/>.
- [3]. ASTM Standard D-6110, 2008. Standard test method for determining the Charpy impact resistance of notched specimens of plastics [Internet]. West Conshohocken (PA): ASTM International. Available from: <http://www.astm.org/>.

[4]. <http://www.pikiran-rakyat.com//>.

- [5] Wardayani (2014), Perancangan *Mold Base* untuk Mesin Injeksi "HAITIN MA 900/260e" ,Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [6] Soejanto, Irwan,(2009). Desain eksperimen dengan Metode Taguchi, Graha Ilmu, Yogyakarta.

“PEMILIHAN PARAMETER UNTUK MENINGKATKAN KEKUATAN SPESIMEN TARIK DAN *IMPACT* PADA PROSES INJEKSI PLASTIK DENGAN METODE TAGUCHI”



OLEH :

DHIAN PRIHANANTO [2110100093]

Dosen Pembimbing : Arif Wahyudi ST., MT., PhD

Co. Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ing. I Made Londen Batan, ME.



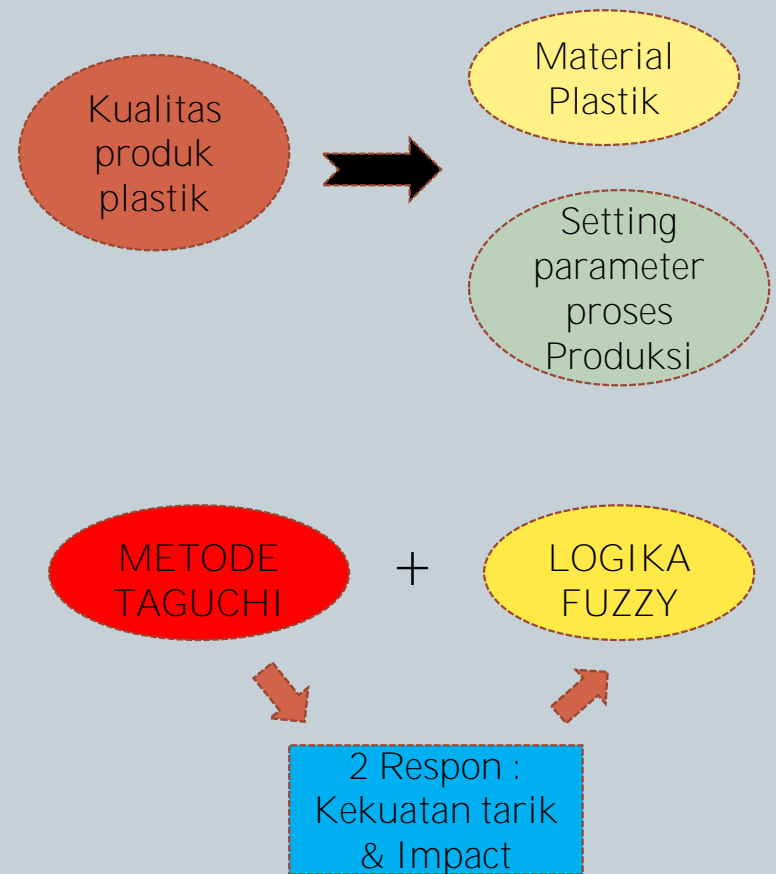
TUGAS AKHIR – TM141585



Latar Belakang



Tercatat tahun 2013 kebutuhan plastik dalam negeri sebesar 1,9 juta ton, meningkat 22,58% dari 2012, yaitu 1,55 juta ton, dan kebutuhan tersebut diprediksi tiap tahunnya akan meningkat secara terus-menerus. (<http://ekonomi.kompasiana.com>)



Rumusan Masalah



1. Apakah faktor-faktor seperti : *holding time*, *nozzle temperature*, dan *cooling time* pada proses injeksi plastik memiliki pengaruh terhadap kekuatan tarik dan *impact* dari spesimen yang dihasilkan?
2. Bagaimana setting yang tepat dari faktor-faktor tersebut pada proses injeksi plastik sehingga dapat memaksimalkan kekuatan tarik dan *impact* dari spesimen yang dihasilkan?

Batasan Masalah

1. Biji plastik yang digunakan adalah *Polypropylene*
2. Mesin injeksi plastik yang digunakan HAITIAN MA 900/260 e
3. Mesin uji beban kejut (*impact*) yang digunakan adalah Mesin Impact Mini yang dapat menyalurkan energi sebesar 2,75 Joule
4. Mesin uji tarik yang digunakan adalah Frank 654 dengan kapasitas maksimal 200 kg
5. Pemeriksaan cacat pada spesimen hanya dilakukan secara visual
6. Dimensi spesimen disesuaikan dengan Standar material yaitu ASTM D638 untuk uji tarik dan ASTM D6110 untuk uji *impact*
7. Hasil peningkatan hanya berlaku pada spesimen tarik dan impact

Tinjauan Pustaka

Pemilihan Matriks orthogonal



$$L_a(b^c)$$

a = total jumlah derajat kebebasan setiap level faktor – 1

b = total jumlah faktor

c = level faktor

Contoh : $L_4(2)^2$

No. Experiment	Faktor 1	Faktor 2
1	1	1
2	1	2
3	2	1
4	2	2

Tinjauan Pustaka

Menghitung Rasio S/N



Smaller the Better

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n} \right]$$

Nominal is the best

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \bar{y})^2}{n} \right]$$

Larger the Better

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{1/y_i^2}{n} \right]$$

Dengan :

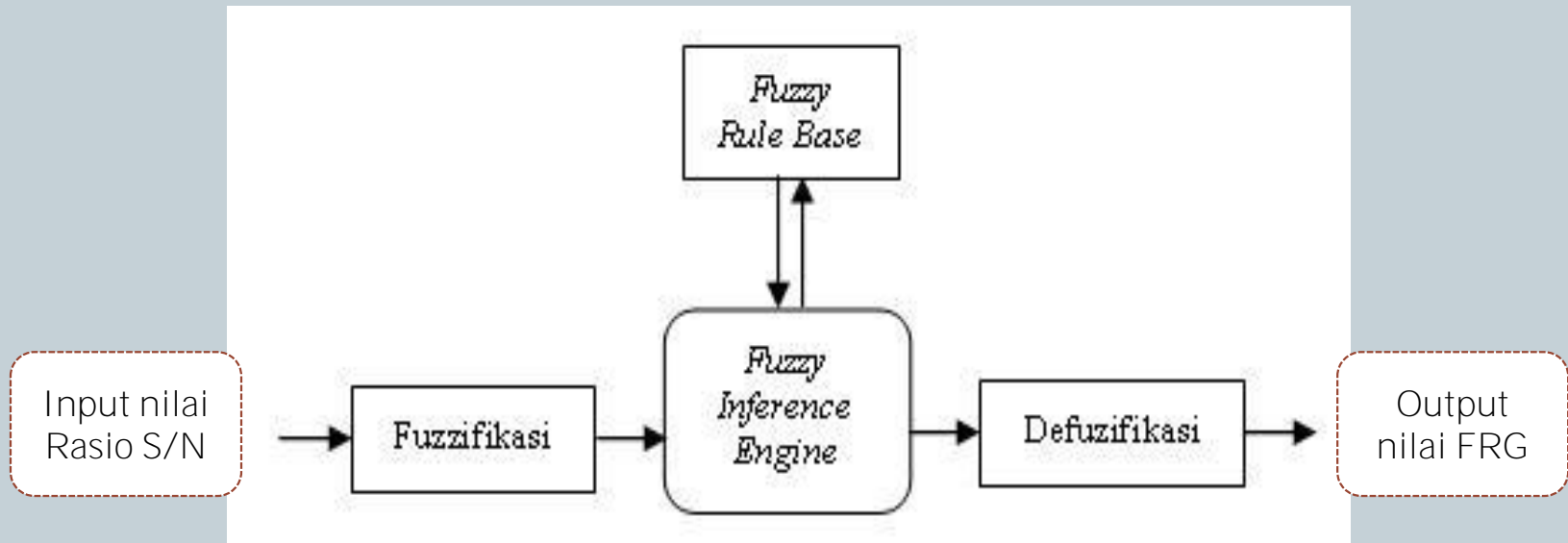
y_i = data output pada percobaan ke-i

y = rata-rata data output

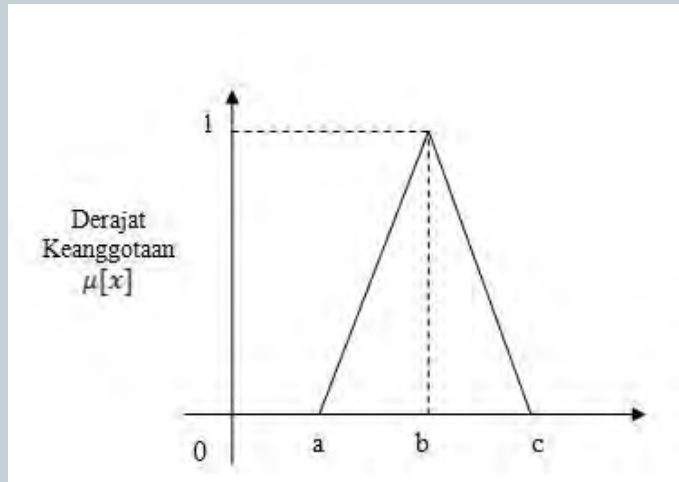
n = jumlah percobaan

Tinjauan Pustaka

Struktur Proses Metode Taguchi + Logika Fuzzy



Membership Function



$$\mu[x,a,b,c] = \begin{cases} 0 & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ (x-a)/(b-a); & a \leq x \leq b \\ (c-x)/(c-b); & b \leq x \leq c \end{cases}$$

Rendah = 0

Sedang = $(x-a)/(b-a)$

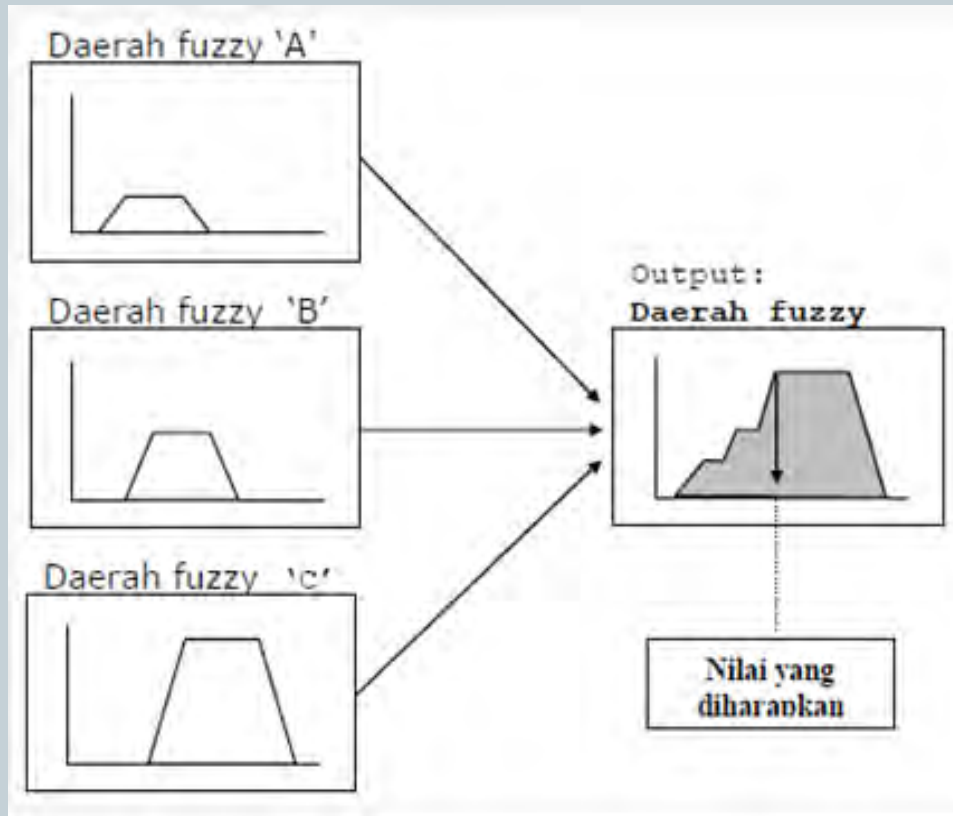
Tinggi = $(c-x)/(c-b)$

Representasi Kurva Segitiga

Mengaplikasikan Fuzzy Rule Base

Parameter Respon		Kekuatan Tarik		
		Rendah	Sedang	Tinggi
Kekuatan Impact	Rendah	Sangat Rendah	Rendah	Sedang
	Sedang	Rendah	Sedang	Tinggi
	Tinggi	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi

Defuzifikasi



Fuzzy Reasoning Grade (FRG)

Metode Controid

$$Z^* = \frac{\int_a^b Z \cdot \mu_{(Z)} dz}{\int_a^b \mu_{(Z)} dz}$$

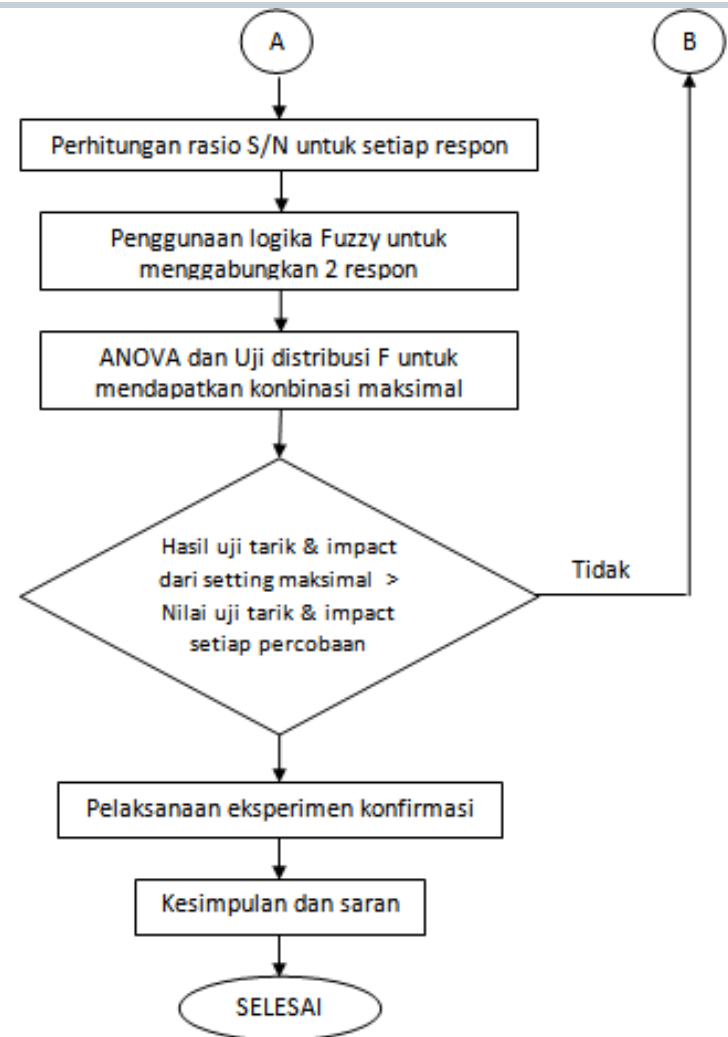
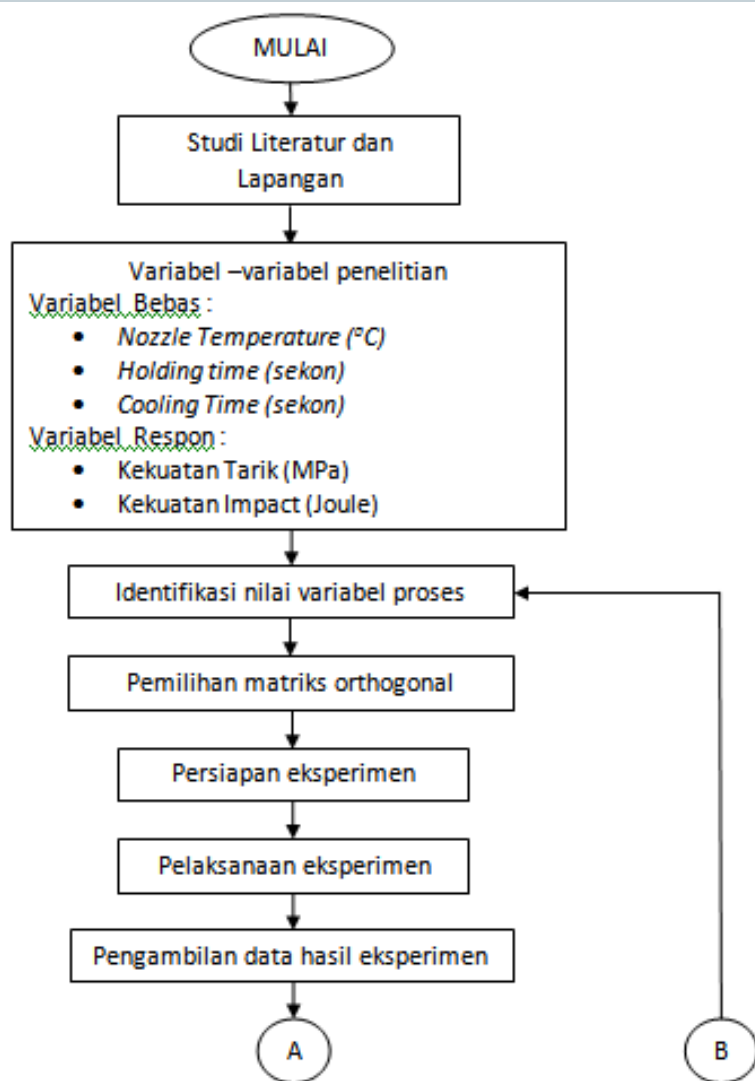
Dengan :

Z^* = nilai defuzifikasi

Z = nilai domain ke-i

$\mu_{(Z)}$ = derajat keanggotaan nilai tersebut

Flowchart Penelitian



Variabel-variabel Penelitian



Faktor/ Parameter Proses	Satuan	Level 1	Level 2	Level 3
A Nozzle temperature	°C	220	225	230
B Holding time (waktu tahan)	Sekon	5	10	15
C Cooling time (waktu pendinginan)	Sekon	10	15	20

No	Faktor Konstan	Nilai/ kode nilai	
1	Tekanan injeksi	40	45
2	Kecepatan injeksi	40	45
3	Waktu injeksi	0.8	
4	Tekanan tahan	0	40
5	Kecepatan tahan	0	35

Pemilihan Matriks Orthogonal



No	Faktor	Jumlah level (k)	$v_f(k-1)$
1	Nozzle temperature (A)	3	2
2	Holding time (waktu tahan) (B)	3	2
3	Cooling time (waktu pendinginan) (C)	3	2
	Total	6	

Matriks Orthogonal yang digunakan = $L_9(3)^3$



Experiment Number	Column		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

Data Hasil Eksperimen dan Rasio S/N



Contoh Perhitungan Rasio S/N kek. Tarik kombinasi 1:

Rasio S/N yang digunakan adalah
“Larger the Better”



$$S/N (Kt) = -10 \log \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2$$

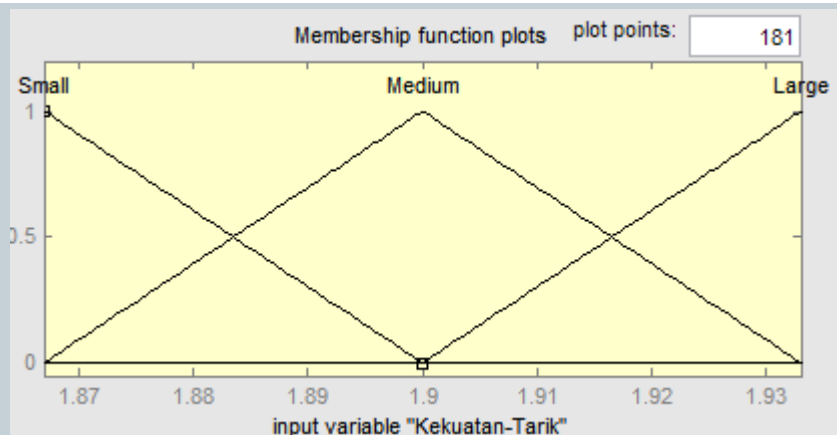
$$S/N (Kt) = -10 \log \left[\frac{1}{3} \times 8,718^2 + 9,398^2 + 9,126^2 \right]$$

$$S/N (Kt) = 1,917$$

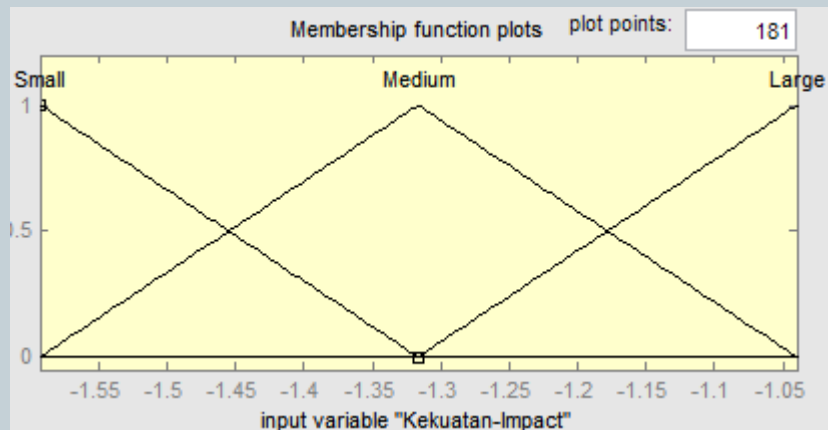
Setting Faktor /Kombinasi ke-	Kekuatan Tarik (MPa)			Kekuatan Impact (Joule)			Rasio S/N	
							Kekuatan Tarik	Kekuatan Impact
1	8,718	9,398	9,126	0,129	0,173	0,173	1,917	-1,593
2	9,262	8,717	8,989	0,173	0,173	0,173	1,908	-1,524
3	9,126	9,262	9,262	0,216	0,259	0,259	1,929	-1,220
4	8,717	9,126	9,126	0,259	0,259	0,259	1,908	-1,173
5	9,398	9,126	9,262	0,259	0,259	0,259	1,933	-1,173
6	8,989	8,989	9,126	0,216	0,259	0,216	1,912	-1,272
7	9,126	8,581	8,717	0,302	0,302	0,302	1,890	-1,040
8	8,445	8,581	8,717	0,259	0,259	0,259	1,867	-1,173
9	9,262	8,445	8,717	0,259	0,302	0,302	1,890	-1,080

Fuzzifikasi

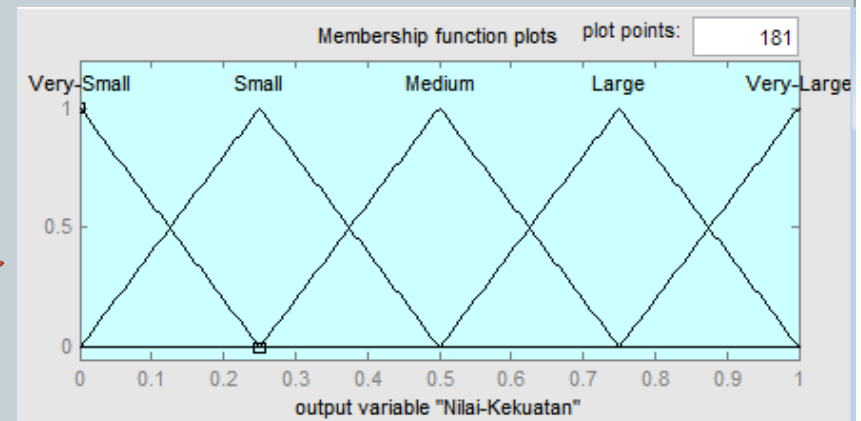
Membership Function



Membership function untuk Kek. Tarik

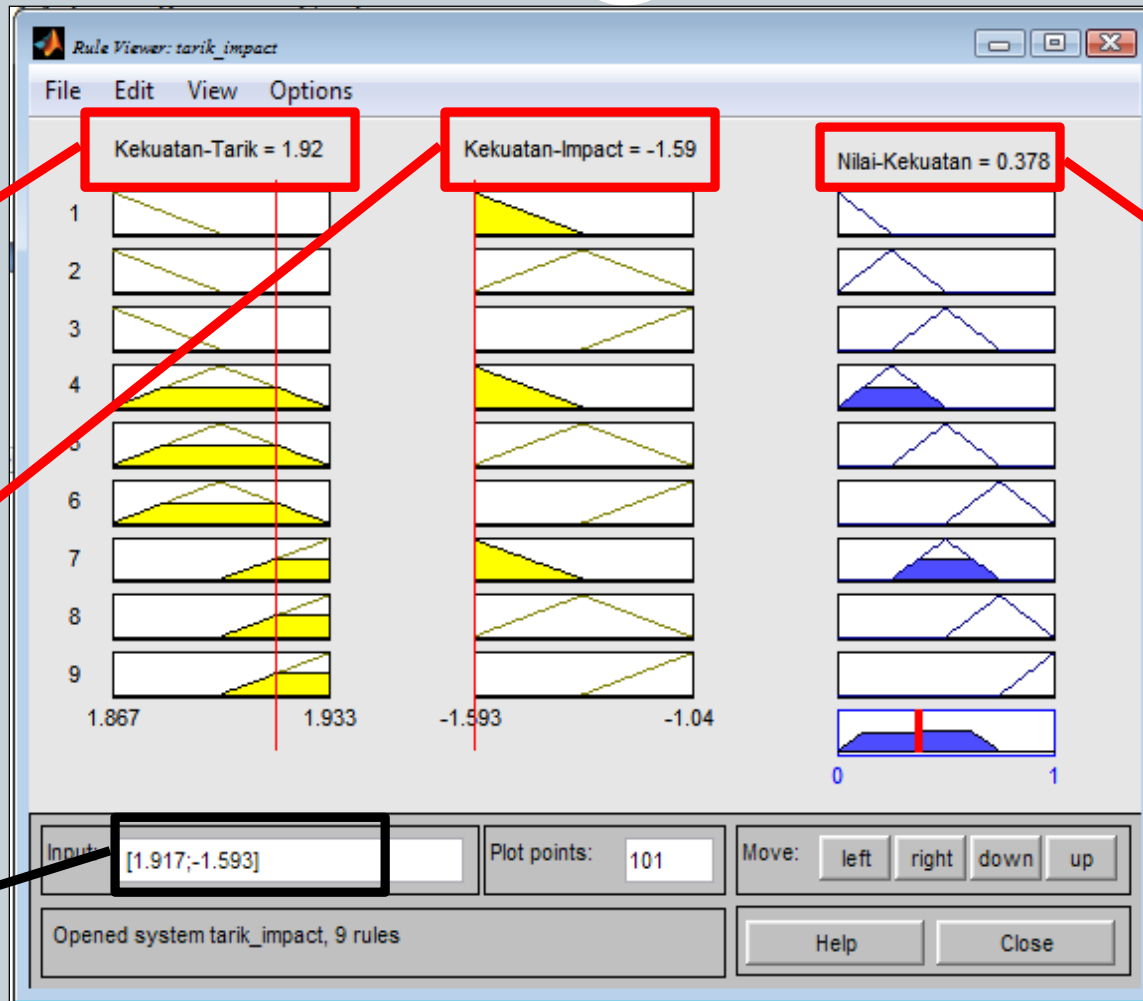


Membership function untuk Kek. Impact



Gabungan Membership function untuk Fuzzy Reasoning Grade

Defuzzifikasi



Rasio
S/N
Kek.
Tarik

Rasio
S/N
Kek.
Impact

Input
Nilai

Fuzzy
Reasoning
Grade (FRG)

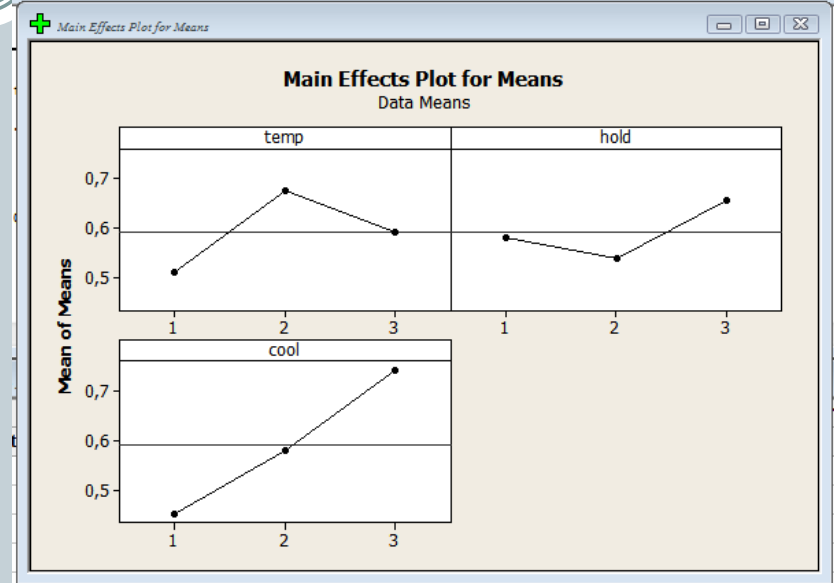
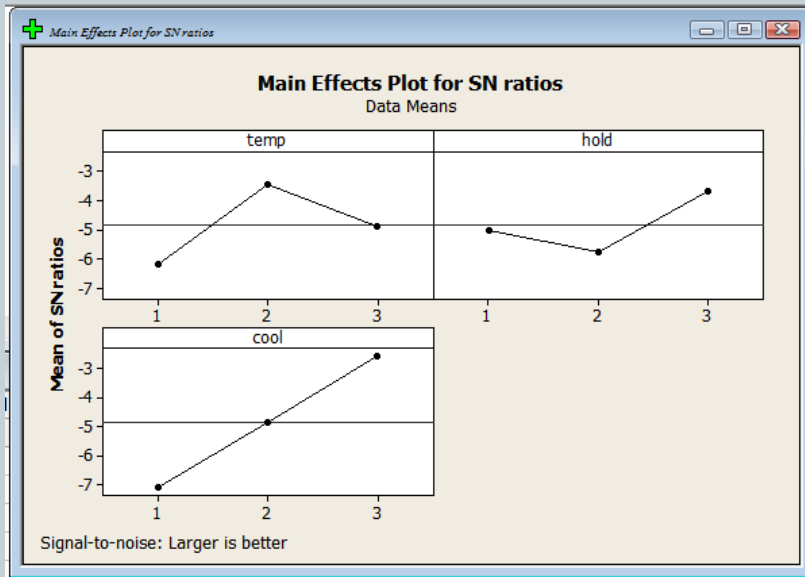
Proses defuzzifikasi dengan Software MATLAB

Data Fuzzy Reasoning Grade (FRG)

Kombinasi Faktor ke-	Rasio S/N		Fuzzy Reasoning Grade (FRG)
	K. Tarik	K. Impact	
1	1,917	-1,593	0,378
2	1,908	-1,524	0,411
3	1,929	-1,220	0,723
4	1,908	-1,173	0,638
5	1,933	-1,173	0,785
6	1,912	-1,272	0,602
7	1,890	-1,040	0,666
8	1,867	-1,173	0,379
9	1,890	-1,080	0,610

Digunakan
untuk Metode
Taguchi

Grafik rasio S/N dan rata-rata untuk setiap level parameter



Analisa Taguchi menggunakan Software Minitab 16

Setting Parameter untuk meningkatkan kekuatan tarik dan impact tertinggi



Parameter Proses	Level Faktor	Nilai Level
Nozzle Temperature (A)	2	225 °C
Holding Time (B)	3	15 sekon
Cooling Time (C)	3	20 sekon

Analisa Variansi, Uji Distribusi F dan persen Kontribusi



Parameter	DF	SS	MS	F	p-value	% Kontribusi
Nozzle Temp.	2	0,046724	0,023362	30,82	0,031	24,529
Hold Time	2	0,022784	0,011392	15,03	0,062	11,540
Cool Time	2	0,113272	0,056636	74,71	0,013	60,639
Error	2	0,001516	0,000758			3,292
Total	8	0,184297				

Analisis Variansi menggunakan Minitab 16

Uji distribusi F

Untuk Faktor A (Nozzle Temperature)

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor A terhadap multirespon

H_1 : Ada pengaruh Faktor A terhadap multirespon

Kesimpulan: $F_{Hitung} = 30,82 > F(0,05;2;2) = 19,00$, maka H_0 ditolak, artinya terdapat pengaruh yang signifikan dari parameter Nozzle Temperatur terhadap multirespon.

Parameter Proses	Hipotesa Nol
A	Tolak
B	Gagal ditolak
C	Tolak

Data setelah di Pooled Up

Parameter	DF	SS	MS	F	p-value	% Kontribusi
Nozzle Temp.	2	0,046724	0,023362	30,82	0,031	24,529
Hold Time	Pooled Up					
Cool Time	2	0,113272	0,056636	87,02	0,013	60,639
Error	4	0,0243	0,01215			14,832
Total	8	0,184297				

“Apabila besar persen kontribusi dari error setelah dilakukan pooled up $\leq 15\%$, maka tidak ada faktor yang terabaikan. Dengan kata lain faktor yang telah dipooled up tidak mempengaruhi respon secara **signifikan**”. (*Yung-Tsan Jou dkk, Integrating the Taguchi Method and Response Surface Methodology for Process Parameter Optimization of the Injection Molding, 1281,2013*)

Perhitungan nilai prediksi kondisi maksimal FRG



: menghitung prediksi kondisi optimal rata-rata FRG:

$$\mu_{prediksi} = \bar{v}_{A2} + \bar{v}_{C3} - T_{Rata-rata\ FRG}$$

$$\mu_{prediksi} = 0,675 + 0,725 - 0,577$$

$$\mu_{prediksi} = 0,823$$

Range nilai prediksi FRG pada kondisi maksimal

Menghitung interval keyakinan

$$CI_1 = \sqrt{\frac{F_{0,05;3;4} \cdot MS_e}{n_{eff}}}$$

$$CI_1 = \sqrt{\frac{6,94 \cdot 0,01215}{2,57}}$$

$$CI_1 = 0,181$$

$$\mu_{prediksi} - CI_1 \leq \mu_{yang\ diprediksi} \leq \mu_{prediksi} + CI_1$$

$$0,823 - 0,181 \leq \mu_{yang\ diprediksi} \leq 0,823 + 0,181$$

$$0,642 \leq \mu_{yang\ diprediksi} \leq 1,004$$

Eksperimen konfirmasi



Setting Faktor	Kekuatan Tarik (MPa)	Kekuatan Impact (Joule)
Konfirmas i eksperime n	9,2618	0,2586
	9,3980	0,3015
	9,1256	0,3015
	9,2618	0,2586
	9,1256	0,3015
Rata-rata	9,2346	0,2843

	Rasio S/N		FRG
	Kekuata n Tarik	Kekuata n Impact	
eksperimen konfirmasi	1,93089	-1,08996	0,814

Karena nilai 0,814 berada diantara nilai 0,642 dan 1,004 maka hasil pemilihan parameter untuk meningkatkan kekuatan spesimen tarik dan impact dengan metode Taguchi dikatakan valid

Kesimpulan



1. Persen kontribusi untuk setiap parameter proses dalam meningkatkan kekuatan tarik dan impact secara serentak adalah sebagai berikut:
 - *Nozzle Temperature* sebesar 24,529 %
 - *Holding time* sebesar 11,540 %
 - *Cooling Time* sebesar 60,639 %
2. Setting parameter kombinasi dari parameter proses yang dapat meningkatkan kekuatan tarik dan impact secara serentak adalah sebagai berikut:
 - *Nozzle Temperature* 225°C
 - *Holding time* sebesar 15 sekon
 - *Cooling Time* sebesar 20 sekon
3. Parameter *Holding time* tidak berpengaruh secara signifikan terhadap multirespon dikarenakan hasil uji distribusi F yang menunjukkan nilai F_{hitung} parameter *Holding time* yang lebih rendah dari nilai F_{tabel} pada tabel distribusi F.



TERIMA KASIH

Minitab - tugas akhir.MPJ

File Edit Data Calc Stat Graph Editor Tools Window Help Assistant

Basic Statistics
Regression
ANOVA
DOE
Control Charts
Quality Tools
Reliability/Survival
Multivariate
Time Series
Tables
Nonparametrics
EDA
Power and Sample Size

One-Way...
One-Way (Unstacked)...
Two-Way...
Analysis of Means...
Balanced ANOVA...
General Linear Model...
Fully Nested ANOVA...
Balanced MANOVA...
General MANOVA...
Test for Equal Variances...
Interval Plot...
Main Effects Plot...
Interactions Plot...

Session

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS
temp	2	0,04672
hold	2	0,02278
cool	2	0,11327
Error	2	0,00151
Total	8	0,18429

S = 0,0275338 R-Sq = 99,18%

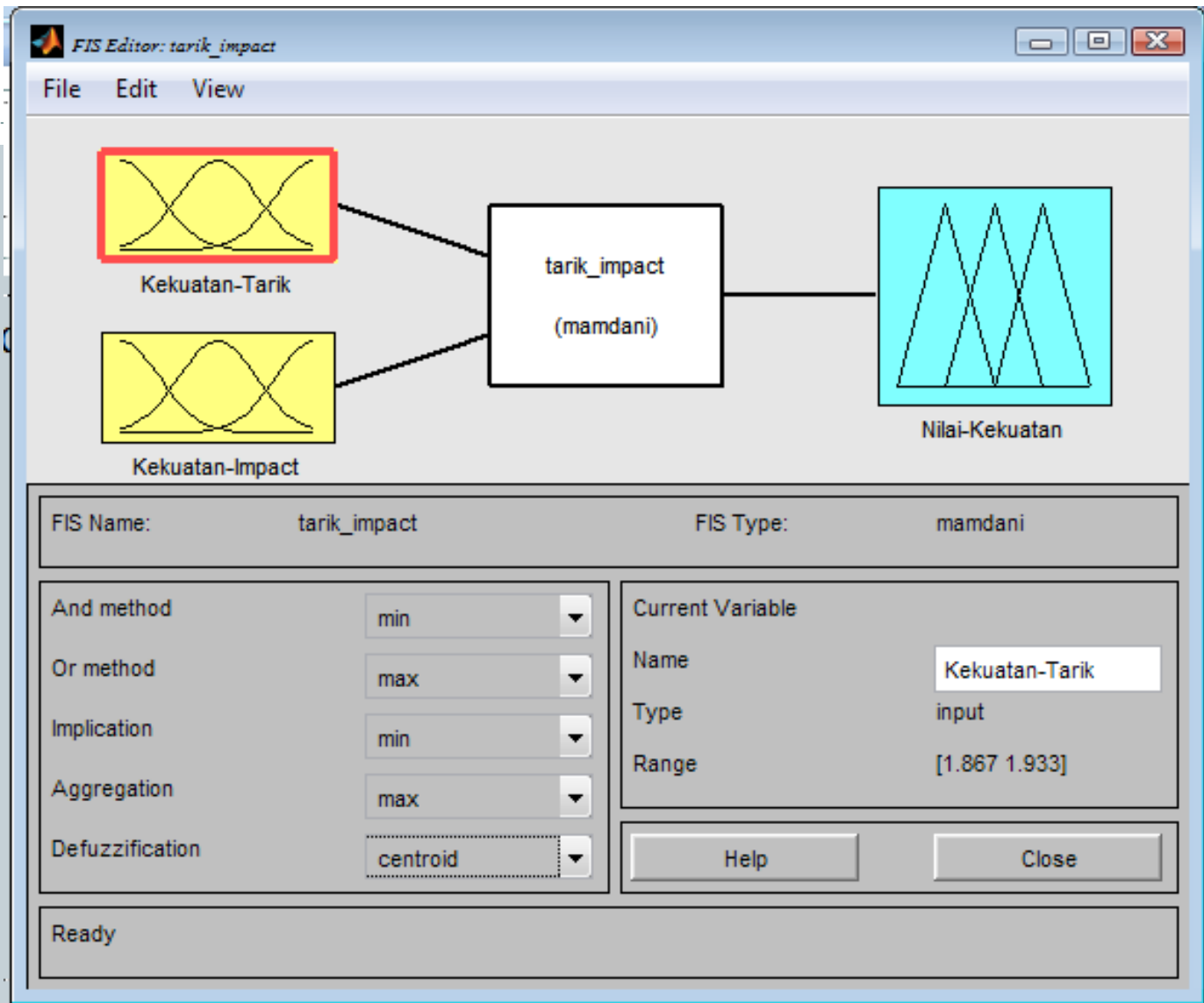
Worksheet 2 ***

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	temp	hold	cool	FRG				
1	1	1	1	0,378				
2	1	2	2	0,411				
3	1	3	3	0,723				
4	2	1	2	0,638				
5	2	2	3	0,785				
6	2	3	1	0,602				
7	3	1	3	0,666				
8	3	2	1	0,379				
9	3	3	2	0,610				
10								

Analysis of Variance for FRG, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
temp	2	0,046724	0,046724	0,023362	30,82	0,031
hold	2	0,022784	0,022784	0,011392	15,03	0,062
cool	2	0,113272	0,113272	0,056636	74,71	0,013
Error	2	0,001516	0,001516	0,000758		
Total	8	0,184297				

S = 0,0275338 R-Sq = 99,18% R-Sq(adj) = 96,71%



1. If (Kekuatan-Tarik is Small) and (Kekuatan-Impact is Small) then (Nilai-Kekuatan is Very-Small) (1)
2. If (Kekuatan-Tarik is Small) and (Kekuatan-Impact is Medium) then (Nilai-Kekuatan is Small) (1)
3. If (Kekuatan-Tarik is Small) and (Kekuatan-Impact is Large) then (Nilai-Kekuatan is Medium) (1)
4. If (Kekuatan-Tarik is Medium) and (Kekuatan-Impact is Small) then (Nilai-Kekuatan is Small) (1)
5. If (Kekuatan-Tarik is Medium) and (Kekuatan-Impact is Medium) then (Nilai-Kekuatan is Medium) (1)
6. If (Kekuatan-Tarik is Medium) and (Kekuatan-Impact is Large) then (Nilai-Kekuatan is Large) (1)
7. If (Kekuatan-Tarik is Large) and (Kekuatan-Impact is Small) then (Nilai-Kekuatan is Medium) (1)
8. If (Kekuatan-Tarik is Large) and (Kekuatan-Impact is Medium) then (Nilai-Kekuatan is Large) (1)
9. If (Kekuatan-Tarik is Large) and (Kekuatan-Impact is Large) then (Nilai-Kekuatan is Very-Large) (1)

If	and	Then
Kekuatan-Tarik is	Kekuatan-Impact	Nilai-Kekuatan is
<div>Small</div> <div>Medium</div> <div>Large</div> <div>none</div>	<div>Small</div> <div>Medium</div> <div>Large</div> <div>none</div>	<div>Very-Small</div> <div>Small</div> <div>Medium</div> <div>Large</div> <div>Very-Large</div> <div>none</div>
<input type="checkbox"/> not	<input type="checkbox"/> not	<input type="checkbox"/> not

Connection

- ☐ or
☒ and

Weight:

1

Delete rule

Add rule

Change rule

<<

>>

FIS Name: tarik_impact

Help

Close

HAITIAN

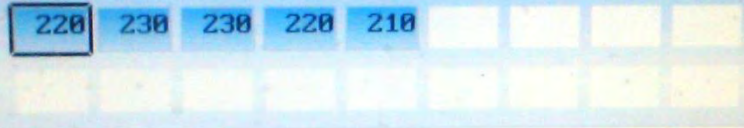
2015.07.08/10:30

TEMP SET

MADE17



Set Val.



KeepWarn

NoUse

Standby Temp

80

Shot Count

6639 cnt

Cycle Time

0.00 sec

Act.Time

0.00 sec

Min: 0 Max: 450

F1VIEW

F2TEMP

F3FUNC

F4PARA

F5CONF

10BACK

Inject Set

MADE17

	#6	#5	#4	#3	#2	#1
ositio		0.0	0.0	0.0	10.0	20.0
Press	0	0	0	0	40	40
Speed	0	0	0	0	40	35

Transfe

Time

Posn

Time

1.00

	#6	#5	#4	#3	#2	#1
Press		0	0	0	0	41
Speed		0	0	0	0	38
Time		0.00	0.00	0.00	0.00	15.00

Min: 10.0

Max: 152.0

F1VIEW

F2INJE

F3VALV

F4FUNC

F5FUNC

F6PROF

F7PARA

F8CONF

10BACK

Shot Count

6639 cnt

Cycle Time

0.00 sec

Act.Time

0.00 sec

Inj.Posn

49.4 mm

Sensor

0 Bar

TurnTime

0.00 sec

Inj End

0.0 mm

